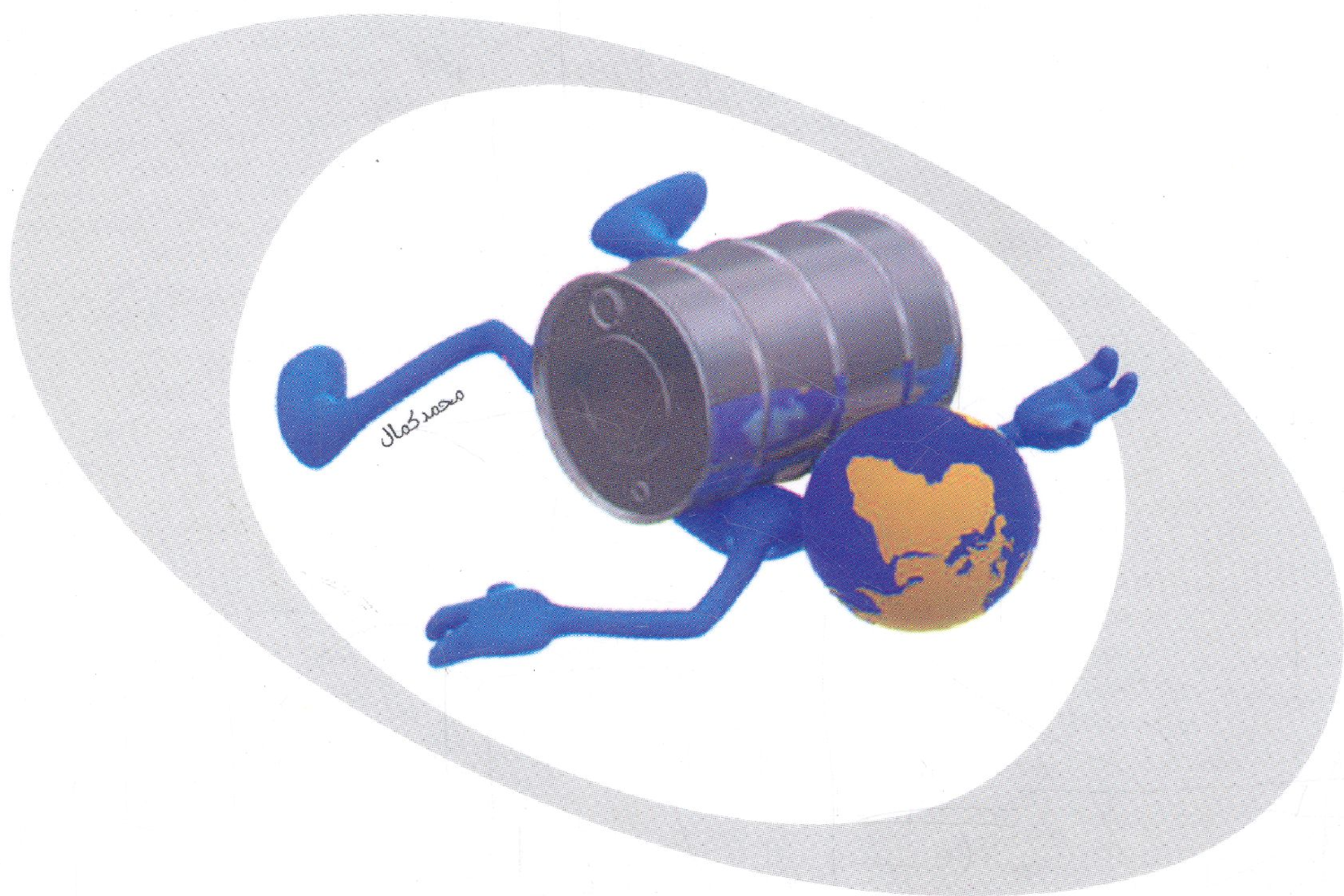
# أزمة الطاقة والتحدي القادم

## دراسة استراتيجية بيئية هندسية




لواء مهندس
محمد أحمد السيد خليل



# أزمة الطاقة والتحدي القادم

## دراسة استراتيجية - بيئية - هندسية

مهنـــدس اسـتشاري
محمد أحمد السيد خليل

الطبعَـة الأولى
١٤٣٠هـ / ٢٠٠٩م

ملتزم الطبع والنشر
دار الفكر العربي
٩٤ شارع عباس العقاد - مدينة نصر - القاهرة
ت: ٢٢٧٥٢٩٨٤ - فاكس: ٢٢٧٥٢٧٣٥
١٦ شارع جواد حسنى - ت: ٢٣٩٣٠١٦٧
www.darelfikrelarabi.com
INFO@darelfikrelarabi.com

٥٣١,٦ محمد أحمد السيد خليل.
م ح أز أزمة الطاقة والتحدي القادم: دراسة استراتيجية، بيئية، هندسية/ محمد أحمد السيد خليل.- القاهرة: دار الفكر العربي، ١٤٣٠هـ = ٢٠٠٩م.
٣٤٣ ص: إيض؛ ٢٤سم.
ببليوجرافية، ص٣٤٣.
تدمك: ٥ - ٢٣٩٨ - ١٠ - ٩٧٧
١- مصادر الطاقة. ٢- الفحم. ٣- البترول. ٤- الغاز الطبيعي. ٥- الوقود الحفري. ٦- الطاقة النووية. ٧- الطاقة الشمسية. ٨ - الطاقة الجديدة والمتجددة. ٩- تلوث البيئة. أ- العنوان.

جمع إلكتروني وطباعة



رقم الإيداع ١٥٩٤٧/ ٢٠٠٨

# بسم الله الرحمن الرحيم

## مقدمة الكتاب

لقد كان مصدر الطاقة في العصور الوسطى هو الخشب بالإضافة إلى قوة الإنسان والحيوان العضلية، وفي نهاية القرن التاسع عشر بدأت عمليات الاستكشاف واستخدام نوع آخر من الوقود وهو الفحم، وظل هو الوقود الرئيسي حتى بداية القرن العشرين، حيث قاد الفحم الثورة الصناعية الأولى. ويوجد خام الفحم في معظم دول العالم ولكن يندر وجوده في دول الشرق الأوسط وإن وجد يكون بنوعية متدنية. لقد دخل الفحم في العديد من الصناعات مثل صناعة الحديد والزجاج والفخار وكذلك العديد من الصناعات الكيميائية وإنتاج الغاز من الفحم، كما ساهم في الكثير من الاختراعات الميكانيكية التي غيرت وجه الحياة في أوروبا.

ثم كان ظهور البترول في بداية القرن العشرين والذي كانت اكتشافاته واستخراجه وتصنيعه واستخدام منتجاته من اهتمامات الولايات المتحدة والتي نقلت إلى كل دول العالم؛ ذلك رغم أن الإنتاج والاحتياطي لزيت البترول يقع معظمه في منطقة الشرق الأوسط، ومن بينها الدول العربية المنتجة للبترول. ولقد قاد البترول الثورة الصناعية الثانية بعد أن أصبح البترول هو المصدر الرئيسي للطاقة خلال القرن العشرين. لقد أثر البترول في كل نشاطات الحياة كالزراعة والتي انتشرت بفعل المكينة الزراعية التي تعمل بالوقود، وكذلك سبب صناعة الأسمدة والمبيدات والتي تصنع من منتجاته، وكذلك زاد النشاط الإعلامي والسياحي لوجود الطائرات والسيارات، واستخدام البترول في السفن بدلا من الفحم مما زاد من كفاءتها. ولقد كانت الحرب العالمية الأولى والثانية بالبترول وبسبب السيطرة على منابع البترول .

وفي منتصف القرن العشرين بدأت الولايات المتحدة في استكشاف وتصنيع الغاز الطبيعي وكذلك استخدام الغاز المصاحب لإنتاج البترول والذي أصبح البديل النظيف في التدفئة المنزلية في أوروبا وأمريكا بدلا من الفحم.

تمتلك منطقة الشرق الأوسط وشمال أفريقيا معظم الاحتياطيات العالمية من البترول والغاز، وفى هذه المنطقة توجد كل الدول العربية المنتجة للبترول والغاز وهى: (العراق، الكويت، السعودية، الإمارات، البحرين، قطر، عمان، اليمن، مصر، ليبيا، الجزائر، السودان). ويعد انخفاض إنتاج الولايات المتحدة من النفط من عام ١٩٧٠ وكذلك الحال لمعظم الدول الأوروبية حيث زاد استهلاكها عن إنتاجها، بينما فى الدول العربية زاد الإنتاج عن الاستهلاك. كذلك مع بداية الأزمات البترولية بدءا من ١٩٧٠ ، ١٩٧٣ ثم حرب الخليج الأولى والثانية، ومع وصول الإنتاج العالمى من النفط حدود الذروة أى ما تم إنتاجه يصعب تعويضه. فقد قامت الولايات المتحدة بإحكام سيطرتها على مصادر البترول مستخدمة فى ذلك كل الوسائل التى تمكنها من تأمين مصادر إنتاجه.

وعلى الرغم من أن مصادر الطاقة المتاحة من الوقود الحفرى محدودة إلا أن الاستخدام الجائر لهذه المصادر قد أفسد الكثير من الأنظمة البيئية.

لقد كانت ثروات أمريكا من موارد الطاقة والقدرة على استغلالها حيث صارت فى نهاية الحرب العالمية الثانية الدولة الأقوى فى العالم. وبحلول سبعينيات القرن الماضى بدأت أمريكا وكثير من دول العالم الغربى تطوير تقنيات الطاقة الجديدة والمتجددة والتى لم تصل بعد حتى الآن إلى درجة النضوج الاقتصادى والتقنى فى معظمها، والذى دفع الولايات المتحدة والدول الغربية إلى تطوير قدراتها فى إحكام السيطرة على منابع البترول فى العالم.

وإذا كان نابليون قد قال: إن الجيوش تمشى على بطونها فإن الجيش الأمريكى ماؤه ودماؤه نفط... فهناك أكثر من ٨٠٠ قاعدة حربية أمريكية فى أكثر من ١٠٠ دولة من دول العالم؛ ولذلك فإن وزارة الدفاع الأمريكية هى المستهلك الأول للبترول فى العالم بإجمالى ٣٤٠ ألف برميل يوميا.

وإذا كان الوضع الحالى يبين أنه ليس من نهاية للإمبراطورية الأمريكية على المدى المنظور، إلا أن التاريخ يؤكد أنه لا توجد أمة واحدة لها حق مطلق فى ريادة العالم، فإذا كانت أسبانيا قد قادت العالم فى القرن السادس عشر، وفرنسا فى القرن السابع عشر، وبريطانيا فى القرن التاسع عشر، والولايات المتحدة تقود العالم منذ منتصف القرن العشرين؛ ولذلك فإن كتاب القرن الجديد لا يزال مفتوحا ومستعدا

لتسجيل الأمة التى تسود العالم طبقا لجهودها وتفوقها فى مجالات العلوم والتكنولوجيا والتصنيع والتسليح والتجارة، ومن ثم فإن قصب السبق سيناله من يمسك بمصادر الطاقة سواء التقليدية من الوقود الحفرى الذى وصل إلى مرحلة الذروة والذى فى طريقه إلى النضوب. أو مصادر الطاقة الجديدة والمتجددة والتى لم تنضج تقنياتها بعد هندسيا واقتصاديا. وفى ذلك فليتنافس المتنافسون. وعسى أن لا تغيب الأمة العربية عن هذا السباق وهى التى تمتلك مصادر الطاقة التقليدية ويمقدورها ماديا وبشريا المشاركة فى صنع الحضارة بتطوير تقنيات الطاقة الجديدة والمتجددة.

وفى هذا الإصدار تم تناول مصادر الطاقة من الناحية الاستراتيجية والبيئية والهندسية فى ثلاثة أبواب خصها ستة عشر فصلا. فقد تم تناول موضوعات الوقود الحفرى من الفحم والبترول والغاز فى العالم من ناحية الإنتاج والاستهلاك والاحتياطى والنقل ومعوقات استخدام البدائل فى الباب الأول فى سبعة فصول من الأول إلى السابع. وقد خصص الباب الثانى لتناول الوقود الحفرى وتلوث البيئة، والطاقة النووية فى الفصل الثامن والتاسع. أما الباب الثالث فقد تناول الفصول من العاشر حتى السادس عشر والتى خصصت لمصادر الطاقة الجديدة والمتجددة.

أرجو أن يحقق هذا الإصدار ما نرجوه من وضوح الرؤية نحو أزمة الطاقة وتحدياتها القادمة.

والله الموفق

**المؤلف**

**مهندس**

**محمد أحمد السيد خليل**

# المحتويات

## الباب الثانى

## الفصل الحادى عشر



## الفصل الثانى عشر

## الفصل الثالث عشر



## الفصل الرابع عشر

الفصل الخامس عشر



الفصل السادس عشر

# الباب الأول

# مصادر الطاقة التقليدية من الوقود الحفرى

- **الفصل الأول :** الفحـــم
- **الفصل الثانى:** زيت البتـــرول
- **الفصل الثالث:** الغاز الطبيعـى
- **الفصل الرابع:** ماذا بعد البترول والتحدى القادم
- **الفصل الخامس:** صادرات الطاقة من الشرق الأوسط
- **الفصل السادس:** الجيوبوليتيكس (الجغرافيا السياسية) وعلاقتها بإنتاج ونقل الوقود
- **الفصل السابع:** الزيت والغاز فى مصر

# الفصل الأول

# الفحـــــم

## ١ - مقدمة :

الفحم هو بقايا رواسب نباتية وأعشاب التى كانت تنمو على الأرض وتغطى مساحات كبيرة فى العصور الجيولوجية القديمة، ثم طويت فى جوف الأرض بفعل تحركات القشرة الأرضية وتحولت بفعل الحرارة والضغط إلى فحم. وتقيِّم نوعية الفحم وجودته طبقا لمكوناته الكيميائية ومحتواه من المواد الغريبة والملوثات وعمره فى باطن الأرض. الفحم يتكون أساسا من الكربون، كما أن به نسبة من الرطوبة والمواد المتطايرة والكبريت. يوجد الفحم على هيئة طبقات يختلف سمكها من مكان إلى آخر، كما قد يوجد على هيئة عدسات أو بقع من الطفلة الكربونية ومواد التربة من الرمل والطين.

**الفحم هو الوقود الباعث للثورة الصناعية**. وبعد أن أصبح الفحم من المواد التى لا غنى عنها، عندئذ بدأ الحفر العميق فى الأرض لاستخراج الفحم وتسويقه تجاريا، وأصبحت حفر الفحم تعرف بمناجم الفحم. مناجم الفحم كانت تغمرها المياه أحيانا، ولقد كانت الحاجة إلى ضخ المياه خارج المنجم هى التى أدت إلى اختراع الطلمبات التى تعمل بالبخار الذى يتم إنتاجه بواسطة وقود الفحم. وقد أدى هذا إلى اختراع محركات البخار التى أمكن استخدامها فى القاطرات والسفن والمعدات الصناعية، فى مستهل القرن العشرين، وفى الأماكن حيث أصبح البترول متاحا، عندئذ صار الفحم خارج الاهتمام، ذلك لكون زيت البترول أسهل فى استخراجه من باطن الأرض وخاصة فى السنين الأولى لاكتشافه، ويمكن الاعتماد عليه أكثر من الفحم.

والآن وبعد أن أصبح البترول فى طريقه إلى النضوب فى القرن الواحد والعشرين فإنه من المحتمل العودة إلى استخدام الفحم، وخاصة لإنتاج البخار لتشغيل التربينات فى محطات الطاقة الكهربائية. إلا أنه غير مناسب للاستخدام فى السيارات،

ويمكن أن يستخدم فى تسيير القاطرات، ولكن سيكون من المفضل تسيير القاطرات بالكهرباء.

المتاح من الفحم حاليا يكفى لمئات السنين، ولكن ما تم استخدامه من الفحم هو النوع الجيد الذى كان قريبا من سطح الأرض والأسهل فى استخراجه، حيث كثيرا مما تبقى قد يكون استخراجه صعبا. إن استخدام الفحم سوف يتوقف على الموقف من الطاقة النووية حيث سيكون هو البديل لإنتاج الطاقة الكهربية وخاصة فى الدول ذات الاحتياطيات الكبيرة وذلك فى حالة نضوب البترول والغاز.

**٢ - خصائص الفحم :**

الفحم مادة صلبة ويعتبر واحدا من أهم مصادر الوقود الحفرى مثل زيت البترول والغاز الطبيعى. وما زال الفحم يقوم بدور رئيسى فى قطاع توليد الكهرباء، وإن كان قد بدأ فى التخلى عن مكانه فى هذا الاستخدام لمصادر أخرى، وفى مقدمتها الغاز الطبيعى الأقل تلويثا.

ما يطلقه الفحم من الكربون عند اشتعال ما يعادل منه حراريا طن زيت بترول يبلغ ١,٠٥ طن كربون، بينما ما يطلقه الغاز الطبيعى ٠,٦٣ طن كربون، وما يطلقه زيت البترول حوالى ٠,٨٢ طن كربون. ينتج عن كل طن كربون عند انطلاقه إلى الغلاف الجوى حوالى ٣,٦٦٧ طن من غاز ثانى أكسيد الكربون ($CO_2$) . كذلك يعتبر الفحم أعلى تكلفة فى نقله وأكثر تلويثا وصعوبة فى تداوله واستخدامه كوقود.

وعند استخدام الفحم فى توليد الكهرباء فإنه يتم تحويله إلى ذرات ناعمة لإطلاقها بمضخات خاصة فى الأفران للحصول على الحرارة المستخدمة فى توليد الطاقة. وعلى الرغم من استخدام الوسائل المكلفة لتنقية الغازات ودخان العادم من الملوثات إلا أن بعض الجسيمات الدقيقة تتسرب إلى الجو فتلوثه؛ وذلك بالإضافة إلى تسرب الكبريت الذى تصل نسبته فى الفحم إلى حوالى ٥٪ ، وترتفع كثيرا تكلفة خفض تلك النسبة باستخدام تقنيات إزالة الكبريت من الغاز العادم؛ ولذلك فإن الجهود الهادفة نحو التوسع فى استخدامه مستقبلا تتركز حول استنباط وسائل جديدة لتخفيف آثاره الضارة بالبيئة ، ومن هذه الوسائل تقنيات استخلاص الزيت والغاز من الفحم.

وكان الفحم يعتبر المصدر الرئيسى للوقود فى العالم منذ الثورة الصناعية حتى الحرب العالمية الثانية، ولكنه أخذ يتخلى عن تلك المنزلة للبترول والغاز خلال الفترة التى أعقبت تلك الحرب.

ولم تكن القوة التنافسية للزيت هى السبب فى تقليص إنتاج واستهلاك الفحم، حيث أدت القوانين التى أصدرتها الدول الصناعية بقصد حماية البيئة وتأمين سلامة العاملين فى مناجم الفحم إلى إغلاق المئات من المناجم الصغيرة وإلى تثبيط الحافز على دخول صناعة الفحم.

ومن ناحية أخرى يوجد من العوامل الفنية ما يعيق العودة إلى الفحم بعد أن تحول المستهلك إلى الزيت والغاز والطاقة النووية؛ ذلك لأن إعداد المنجم للإنتاج يستغرق فترات زمنية طويلة قد تمتد من ٧ إلى ٨ سنوات بالنسبة لمنجم جديد وعميق. كذلك يتعذر العودة إلى الإنتاج من المناجم التى سبق هجرها نتيجة لتقلص العمالة المدربة ونقص معدات الاستخراج والشحن ... إلخ. ويسهم فى تلك الصعوبات حماية البيئة.

## ٣ - أنواع الفحم:

تتفاوت أنواع الفحم تفاوتا كبيرا تبعا لمحتواها الحرارى. فقد تبنت إحصاءات الأمم المتحدة القيمة المتوسطة للفحم البيتومينى (٧٠٠٠ كيلو كالورى لكل كيلوجرام فحم، كأساس لحساب الطن من مكافئ الفحم (Tce) (Ton of Coal Equivalent) وهى وحدة قياس مشتركة لجميع مصادر الطاقة فى تلك الإحصاءات.

ويصنف الفحم عادة طبقا لحالة الصلابة وحالة الليونة (Hard And Soft)، حيث يعتبر صلبا إذا زاد محتواه الحرارى عن ٥٧٠٠ كيلو كالورى لكل كيلوجرام، ويعتبر لينا إذا قل عن ذلك.

ومن أمثلة الفحم الصلب فحم الأنثراثيت والفحم البيتومينى. (Bituminous And Anthracite Coal)، أما الفحم اللين فيشمل اللجنيت وما دون البتيومينى (SubBituminous Lignite). نسبة الكربون ترتفع فى فحم الأنتراثيت حيث تصل إلى ٩٦٪ بينما تنخفض فى اللجنيت إلى ٨٣٪ . كذلك تختلف خواص الفحم فى قابليته لإنتاج فحم الكوك (Coke) الذى يستخدم فى صناعة الصلب، ويعتبر من

نوعية ممتازة. وهذا ما يتصف به أغلب الفحم الأمريكى والكندى والأسترالى؛ ولذلك فإن تلك الدول الثلاث تساهم بنحو ٨٥٪ من الصادرات العالمية للفحم.

جدول (١/١) : خصائص الفحم :

| نوع الفحم | كثافة نوعية | كيلوكالورى/كجرام | Btu/ الرطل | كيلوجول/ جرام |
|---|---|---|---|---|
| الأنثراثيت | ١,٦ | ٨١٠٠ | ١٤٥٠٠٠ | ٣٤ |
| البتيومينى | ١,٤ | ٧٢٠٠ | ١٣٠٠٠ | ٣٠ |
| دون البتيومينى | -- | ٦٠٠٠ | ١٠٨٠٠ | ٢٥ |
| اللجنيت | -- | ٥٠٠٠ | ٩٠٠٠ | ٢١ |

**٤ - احتياطيات الفحم وإنتاجه واستهلاكه على المستوى العالمى :**

إن احتياطيات الفحم القابلة للاستخراج اقتصاديا على مستوى العالم، يقع حوالى ٦٠٪ منها فى ثلاث مناطق وهى الولايات المتحدة (٢٥٪) والاتحاد السوفيتى سابقا (٢٣٪) والصين (١٢٪). وترتفع هذه النسبة لتصل إلى ٨٩٪ بإضافة أربع دول وهى أستراليا والهند وألمانيا وجنوب أفريقيا. أى أن توزيع احتياطيات الفحم على خلاف البترول تتركز فى دول صناعية مهمة حيث يستهلك الجانب الأكبر محليا، وقد يتوفر فى بعضها فائض للتصدير.

إلا أن الفحم لم يسبق البحث عنه بشكل مكثف فى الدول النامية التى يقع أغلبها فى النصف الجنوبى من الكرة الأرضية، حيث تشير المؤشرات الجيولوجية إلى وجود احتمالات كبيرة للعثور على الفحم فى هذا النصف على نحو ما تحقق فى أستراليا التى كانت تستورد الفحم من إنجلترا، ثم تمكنت بتكثيف التنقيب عنه بالعثور على احتياطيات وضعتها فى المرتبة الرابعة عالميا من حيث حجم الإنتاج.

وتقدر احتياطيات الفحم القابلة للاستخراج بنحو ٩٨٤ مليار طن مترى فى عام ٢٠٠٢ (الطن المترى = ٢٢٠٤ رطل، الطن القصير = ٢٠٠٠ رطل فقط) وهذا الاحتياطى يكفى لتغطية الاستهلاك العالمى لأكثر من ٢٠٠ عام.

وتتوزع تلك الاحتياطيات بمعدل متساوٍ تقريبا بين الفحم الصلب (أى الأنثراثيت والبتيومينى) ٥٠٩ مليار طن، الفحم اللين (اللجنيت ودون البتيومينى) ٤٧٥ مليار طن. جدول (١/٢).

طن بتـرول مكافئ (Toe) = ١,٥ طن فـحم صلب ، = ٣ طن فـحم لين. المحتوى الحرارى لاحتياطى الفحم الصلب مقيم بأطنان الزيت المكافئ = ٣٤١ مليار طن زيت مكافئ (Toe)، ويزيد على ضعف الثانى – ١٥٩ مليار طن زيت مكافئ.

وإذ تكافئ احتياطيات الفحم حراريا نحو ٥٠٠ مليار طن بترول مكافئ فإنها تبلغ ٣,٦ ضعف الاحتياطيات العالمية من زيت البترول والتى تقدر بنحو ١٤٠ مليار طن مترى، كما تبلغ أيضا ثلاثة أضعاف الاحتياطيات العالمية من الغاز الطبيعى.

وقد بلغ الإنتاج العالمى من الفحم عام ٢٠٠١ ما يعادل حراريا ٢٢٤٨ مليون طن بترول مكافئ (Toe) وكان أهم من ساهم فى هذا الإنتاج الولايات المتحدة (٢٨٪)، الصين (٢٤٪)، أوروبا (١٢٪)، الاتحاد السوفيتى السابق (٩٪) ثم أستراليا والهند وجنوب أفريقيا بنسبة حوالى ٧٪ لكل منها. جدول (١/٢)

**جدول (١/٢) : الاحتياطيات العالمية من الفحم فى أول يناير ٢٠٠٢**
**طبقا للمحتوى الحرارى**
**الوحدة = مليون طن مترى**

| الدولة | أنثراثيت بتيوميني | دون البتيوميني لجنايت | الجملة | النسبة ٪ |
|---|---|---|---|---|
| الولايات المتحدة | ١١٦ | ١٣٤ | ٢٥٠ | ٢٥,٤ |
| روسيا | ٤٩ | ١٠٨ | ١٥٧ | ١٦ |
| باقى دول الاتحاد السوفيتى | ٤٨ | ٢٥ | ٧٣ | ٧,٤ |
| الصين | ٦٢ | ٥٢ | ١١٤ | ١١,٦ |
| أستراليا | ٤٣ | ٤٠ | ٨٢ | ٨,٣ |
| الهند | ٨٢ | ٢ | ٨٤ | ٨,٦ |
| ألمانيا | ٢٣ | ٤٣ | ٦٦ | ٦,٧ |
| جنوب أفريقيا | ٥٠ | ـــ | ٥٠ | ٥ |
| باقى العالم | ٤٦ | ٦١ | ١٠٧ | ١٠,٩ |
| جملة العالم | ٥١٩ | ٤٦٥ | ٩٨٤ | ١٠٠ |
| جملة العالم | ٣٤١ | ١٥٩ | ٥٠٠ | ـــ |
| مليار زيت مكافئ | ـــ | ـــ | ـــ | ـــ |

الاستهلاك العالمي من الفحم عام ٢٠٠١ بلغ حوالي ٢٢٥٥ مليون طن زيت مكافئ ويقترب نمط توزيعه بين الدول من النمط الإنتاجي، وبأنصبة بلغت ٢٦ ٪ للولايات المتحدة، ٢٤ ٪ للصين، ١٧ ٪ لأوروبا، ٨٪ للاتحاد السوفيتي سابقا، للهند ٧ ٪.

ولم يخرج عن نمط الاكتفاء الذاتي من الفحم سوى أوروبا التي تقوم باستيراد حوال ٢٧ ٪ من احتياجاتها لتغطية العجز في إنتاجها المحلي، واليابان التي تستورد تقريبا كل احتياجاتها من الفحم ثم أستراليا التي لا تستهلك تقريبا أكثر من ثلث الإنتاج ثم تقوم بتصدير الباقي.

جدول (١/٣) : الاستهلاك العالمي من الفحم عام ٢٠٠١

(الوحدة = مليون طن زيت مكافئ)

| الدولة | الإنتاج | | الاستهلاك | | فائض + |
|---|---|---|---|---|---|
| | كمية | ٪ | كمية | ٪ | عجز - |
| الولايات المتحدة | ٥٩١ | ٢٦,٣ | ٥٥٦ | ٢٤,٦ | + ٣٥ |
| الصين | ٥٤٩ | ٢٤,٤ | ٥٢١ | ٢٣,١ | + ٢٨ |
| أوروبا | ٢٣٠ | ١٠,٢ | ٣٤٤ | ١٥,٣ | - ١١٤ |
| الاتحاد السوفيتي سابقا | ٢٠٦ | ٩,٢ | ١٨٠ | ٨,٠٠ | + ٢٦ |
| الهند | ١٦١ | ٧,٢ | ١٧٣ | ٧,٧ | - ١٢ |
| أستراليا | ١٦٨ | ٧,٥ | ٤٨ | ٢,١ | + ١٢٠ |
| جنوب أفريقيا | ١٢٧ | ٥,٦ | ٨١ | ٣,٦ | + ٤٧ |
| اليابان | ٢ | - | ١٠٣ | ٤,٦ | - ١٠١ |
| كندا | ٣٨ | ١,٧ | ٢٩ | ١,٣ | + ٩ |
| أندونيسيا | ٥٧ | ٢,٥ | ١٧ | ٠,٧ | + ٤٠ |
| باقي العالم | ٤١ | ١,٧ | ٥٧ | ٢,١ | - ١٦ |
| جملة العالم | ٢٢٤٨ | ١٠٠ | ٢٢٥٥ | ١٠٠ | -- |

وعلى خلاف ما يتوقع من انكماش فى استهلاك الفحم فى أوروبا الغربية، فيتوقع أن تلعب الصين والهند الدور الرئيسى فيما سيطرأ من زيادة على الاستهلاك العالمى من الفحم خلال الفترة من ٢٠٠٠ إلى ٢٠٢٠، حيث يقدر نصيبهما معا بنحو ٩٧ ٪ من تلك الزيادة. ومن أسباب تلك الزيادة ما هو متوقع من ارتفاع معدلات النمو الاقتصادى فيهما، وذلك بالإضافة إلى عدم توفر مصادر بديلة للفحم فى الدولتين، وعدم التزامهما بتطبيق تعهدات دولية بخفض الانبعاثات الملوثة للغلاف الجوى فى إطار بروتوكول كيوتو.

ويتوقع أن يتقلص اعتماد الدول الصناعية الغربية على الفحم فى توليد الكهرباء نتيجة لاعتبارات بيئية مع توفر الغاز الطبيعى بأسعار منافسة، فإن نصيب الهند والصين من الطاقة الكهربية المولدة عالميا باستخدام الفحم يمكن أن يرتفع بحلول عام ٢٠٢٠ إلى حوالى ٤٠ ٪ من تلك الطاقة، مع انفراد الصين وحدها بنحو ٢٥ ٪.

فى الحرب العالمية الثانية تمكن الألمان من المعالجة الكيميائية للفحم لاستخلاص الغاز الطبيعى والمشتقات البترولية.

**٥- احتياطيات الفحم وإنتاجه واستهلاكه على المستوى المحلى فى مصر :**

بدأت عمليات الاستكشاف للفحم والطفلة الكربونية عام ١٩٥٦ حيث تركزت أساسا فى سيناء. فى منطقة المغارة، وبدعة ثور، وعيون موسى ومنطقتين فى الصحراء الغربية هما الخطاطبة وعلم البويب.

**أ – منطقة المغارة :**

تقع المغارة فى شمال سيناء على بعد ٨٠ كيلومترا جنوب غرب مدينة العريش، وقد تم اكتشاف فحم المغارة عام ١٩٦١ وافتتح أول منجم فى وادى الصفا عام ١٩٦٤ إلا أن العمل توقف فى أعقاب احتلال سيناء عام ١٩٦٧ . وفى عام ١٩٨٢ أجريت دراسة جدوى إعادة تشغيل المنجم وتم تأسيس شركة سيناء للفحم عام ١٩٨٨ وبدأ الإنتاج فى أواخر عام ١٩٩٥ .

وتبلغ الاحتياطيات المؤكدة حوالى ٢٧ مليون طن منها حوالى ٢١ مليون طن قابلة للاستخراج مع استغلال الطبقة الرئيسية فقط؛ نظرا لصغر سمك الطبقة العليا. وتفيد الأعمال الاستكشافية التى أجريت فى منطقة الركب وهى الامتداد الغربى

للمنجم إلى احتمال وجود ١٧ مليون طن مترى أخرى قابلة للاستخراج. ولإمكان استخدام فحم المغارة فى التكويك نظرا لانخفاض نوعيته فإنه يلزم خلطه مع أنواع أخرى من الفحم الجيد لإنتاج فحم الكوك حيث يتم خلط ١٠-١٥ ٪ من فحم المغارة مع أنواع أخرى من الفحم الأمريكى أو الأسترالى أو البترولى لإنتاج فحم الكوك. كما يمكن الاستخدام المباشر لفحم المغارة فى محطات توليد الكهرباء، كما أن هناك اتجاهات نحو تصدير الفحم.

**ب- منطقة بدعة ثور :**

تقع المنطقة على بعد ٢٥ كيلومترا من «أبوزنيمة» على خليج السويس ويقدر الاحتياطى المؤكد من الفحم بحوالى ١,٥ مليون طن (عام ١٩٥٩) وهذه توجد فى عدسات وشقوق لا تجعلها اقتصادية. كما توجد الطفلة الكربونية بكميات كبيرة تقدر بحوالى ٧٥ مليون طن.

**جـ- منطقة عيون موسى :**

تقع المنطقة على بعد ١٤ كيلومترا جنوب شرق السويس ويقدر الاحتياطى المؤكد من الفحم بحوالى ٢١ مليون طن ويحتمل أن يصل إلى ٤٩ مليون طن. إلا أن هذا الاحتياطى يوجد على أعماق بعيدة عن سطح الأرض حيث يتراوح ما بين ٤٤٧ إلى ٦٥٦ مترا. وهذا الفحم هو من نوع اللجنيت ولا يصلح للتكويك؛ ولذا فإنه لا يمكن استخدامه فى الصناعات التعدينية، ولكن يمكن استخدامه فى الصناعات الكيميائية؛ نظرا لكونه غنيا بالمواد العضوية المتطايرة التى يمكن استخدامها كمواد أولية لكثير من الصناعات الكيميائية والدوائية، كما يمكن استخدامه كوقود فى توليد الكهرباء. ولقد تم إرجاء استغلاله لكونه بعيدا عن سطح الأرض إضافة إلى ما يصاحبه من مياه جوفية تحت ضغوط عالية تسبب مشاكل كبيرة فى استخراجه.

**د - مناطق أخرى بسيناء :**

وجدت طبقات رقيقة نسبيا فى مناطق جبل الجدى وجبل الحلال.

هـ - هناك شواهد لوجود الفحم فى منطقتين شمال الصحراء الغربية هما علم البويب والخطاطبة، إلا أنه لم يتم تقييم الاحتياطيات واقتصاديات استخراج الخام.

### الإنتاج والاستهلاك :

بدأ إنتاج الفحم من منجم المغارة فى أواخر عام ١٩٩٥ بطاقة قدرها ٣٤ ألف طن سنويا، ارتفعت عام ١٩٩٧ إلى ١٠٠ ألف طن سنويا، وعمل المنجم بكامل طاقته ليصل الإنتاج إلى ٦٠٠ ألف طن سنويا. وقد استخدم إنتاج الفحم عام ١٩٩٧ أساسا فى صناعة الحديد والصلب.

ورغم ضآلة استهلاك مصر من الفحم إلا أن هذا الاستهلاك يفوق بمراحل الإنتاج حتى فى حالة كامل الاستغلال لطاقة منجم المغارة. وبالنسبة لمستويات الاستهلاك السائدة فى أوائل الثمانينيات فإن الاحتياطيات المؤكدة فى منجم المغارة سوف تستنفد بالكامل فى خلال ٣٥ سنة إذا ما استغل بكامل طاقته الإنتاجية. وليس من المتوقع أن يلعب الفحم دوراً هاما كمصدر للطاقة الأولية فى مصر، نظرا لضآلة الاحتياطيات وتدنى نوعية الفحم المصرى من ناحية، ومن ناحية أخرى بسبب صعوبة نقله واعتبارات حماية البيئة من التلوث.

# الفصل الثانى

# زيت البتـــــرول

## ١ - من أين يأتى زيت البترول :

زيت البترول هو مادة عضوية قديمة والتى تعرضت لدرجة حرارة عالية وضغط مرتفع وتحولت كيميائيا إلى سلاسل وحلقات من ذرات الكربون، والهدروجين، وهذه السلاسل والحلقات تسمى جزيئات. الجزيئات هذه هى المكونات الأساسية لبناء المركبات الكيماوية وهى فى هذه الحالة هى مواد الهدروكربونات (Hy-dro Carbons). الهدروكربونات الخفيفة مثل غاز الميثان ($CH_4$) والبروبين التى تتكون من جزيئات تحتوى على قليل جدا من ذرات الكربون والهدروجين. الهدروكربونات السائلة مثل الجازولين (بنزين السيارات) وزيوت التزليق تحتوى على ذرات أكثر لكل جزىء. الهدروكربونات الثقيلة جدا مثل القار وشمع البارافين تحتوى على سلاسل وحلقات من الهدروجين والكربون أكثر تعقيدا فى شكل المادة الصلبة أو شبه الصلبة.

المادة العضوية التى بدأت عملية تكوين الزيت كانت الطحالب والتى يعتقد أنها حدثت فى الأماكن الضحلة للبحار والمحيطات أثناء فترة الدفء ما قبل التاريخ منذ ما بين ٣٠٠ إلى ٣٠ مليون سنة. هذه الكتل المتراكمة من المادة النباتية الميتة سميت كيروجين (Kerogen) والتى تكونت تحت الرواسب المائية حيث دفعت فيما بعد إلى أسفل بفعل تحركات القشرة الأرضية وذلك إلى عمق ما بين ٧٥٠٠ إلى ١٥٠٠٠ قدم. من بين الحقائق العلمية أن درجة الحرارة تحت سطح الأرض تزداد بمعدل ١٤ درجة فهرنهيت لكل ١٠٠٠ قدم. درجة الحرارة العالية والضغط العالى عند أعماق ما بين ٧٥٠٠،١٥٠٠٠ قدم تكون مناسبة لطبخ هذه الرواسب الحاملة للكيروجين إلى صخور رسوبية محتوية على الهدروكربونات. عند أعماق أكثر من ١٥٠٠٠ قدم تكون الضغوط عالية ودرجة الحرارة عالية بحيث تعمل على تفتت كل جزيئات الهدروكربونات وتحويلها إلى مركبات الهدروكربونات البسيطة وغاز الميثان الذى

يتكون من ذرة من الكربون متصل بها أربع ذرات من الهدروجين ($CH_4$) ، حيث الكثير منه يتسرب خلال طبقات الصخر مع الوقت. لذلك فإن العمق ما بين ٧٥٠٠ ، ١٥٠٠٠ قدم يسمى نافذة الزيت (Oil Window) . خارج هذه النافذة لا يوجد احتمال لتكوين الزيت.

## ٢ - عناصر البحث عن الزيت :

**أ - يقوم الجيولوجيون بدراسة خمسة عناصر للبحث واستكشاف الزيت وهى :**

(١) **مصدر الصخر (Source Rock)** : حيث المادة العضوية يمكن أن يتم طبخها وتحويلها إلى الزيت، فى حالة دفنها إلى العمق الذى يمكنها من أن تتخلل أو تتفتت فى عملية التى يصفها (Geochemists) بعملية الطبخ. هذا العمق لا يقل عن ٧٥٠٠ قدم ولا يزيد عن ١٥٠٠٠ قدم تحت سطح الأرض. فعند عمق ٧٥٠٠ قدم تكون درجة الحرارة مثل التى لفنجان القهوة أى حوالى ٨٢° م (١٨٠ درجة فهرنهيت) . مع وجود التركيز الجيد للنوعية الصحيحة للمادة العضوية عند هذا العمق لملايين السنين، تكون النتيجة هى زيت البترول. إذا كانت المادة العضوية مدفونة عند أى عمق يزيد عن ١٥٠٠٠ قدم فإن درجة الحرارة تصل إلى ١٤٥°م (٢٩٥ درجة فهرنهيت) . فى مثل درجة الحرارة هذه يحدث تحلل وتفتت للمادة العضوية وتحويلها إلى الغاز الطبيعى مباشرة.

(٢) **يجب أن يكون هناك صخر التخزين (Reservoir Rock) الذى فى مسامه يمكن وجود البترول.**

(٣) **وجود صخر الغطاء (Cap Rock) الذى يوقف هروب الزيت من صخر التخزين.**

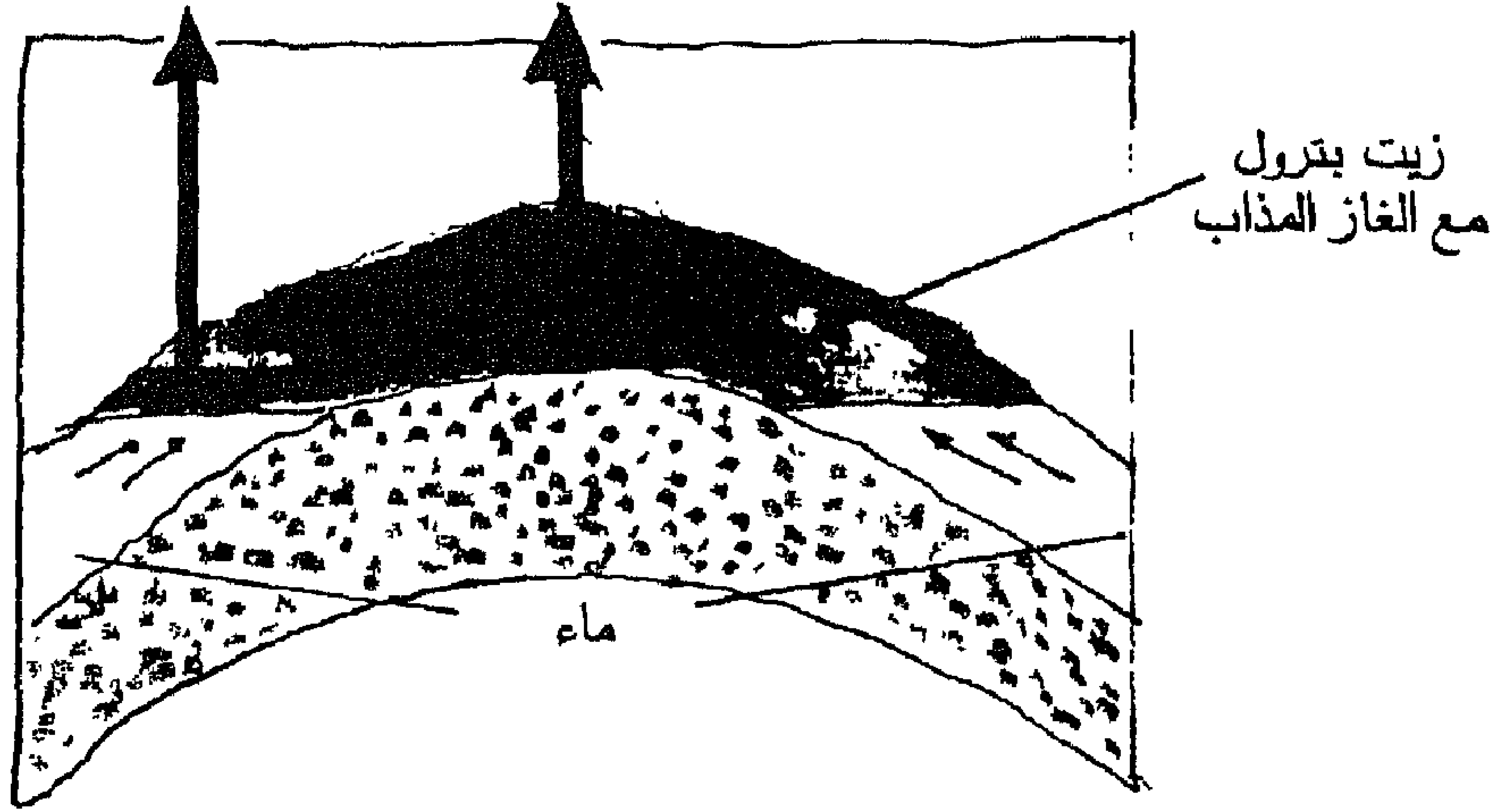
(٤) **يجب وجود مصيدة (Trap) حيث الصخر المسامي الذى يتحرك فيه الزيت تحت الغطاء الصخرى.**

(٥) **فى حالة وجود التواء فى الطبقات الصخرية فإنه يلزم أن يكون مانعا للتسرب**

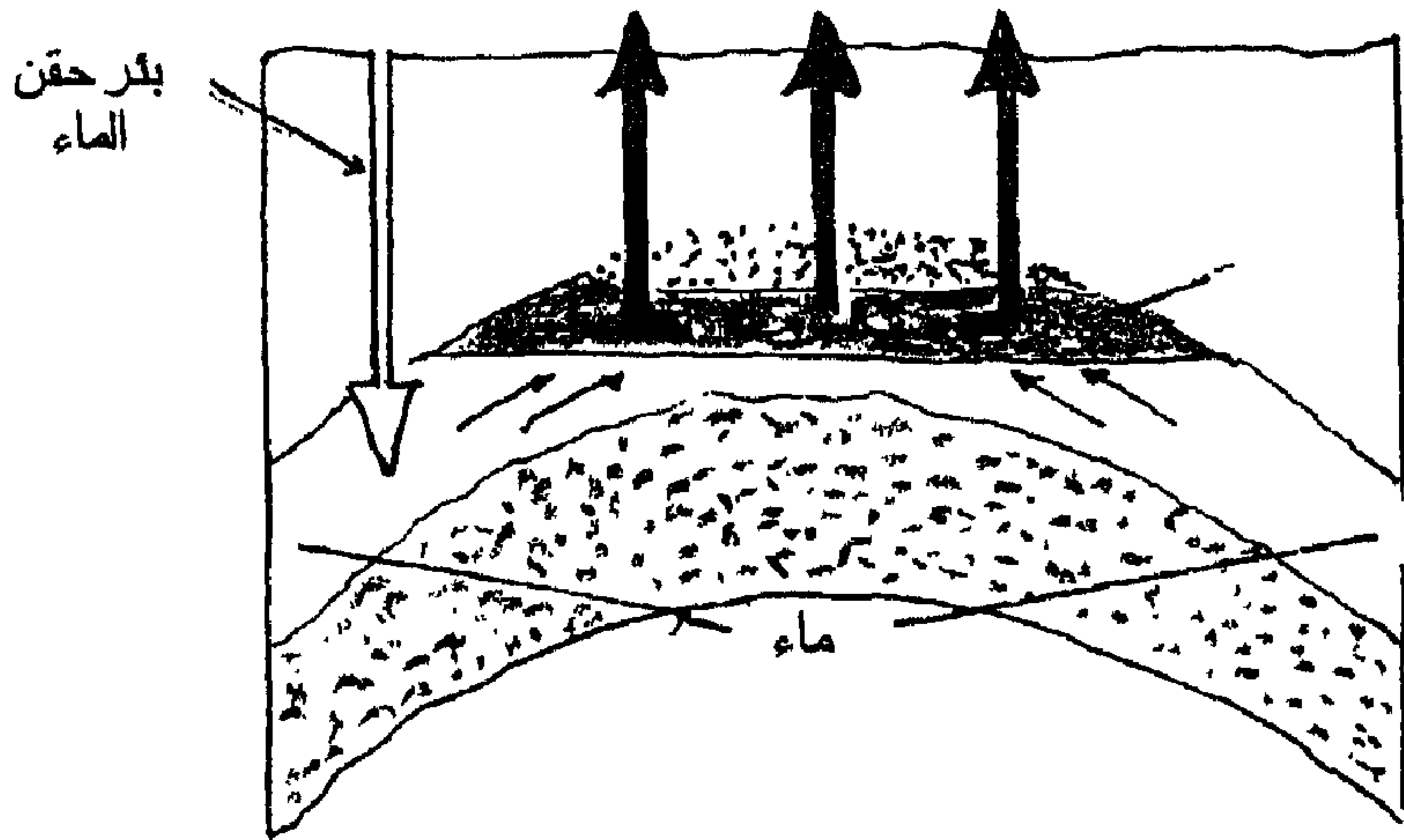
كثير من أنواع الصخر - الشواهد التى يسميها الجيولوجيون تصدعات أو تشققات (Faults) - تسبب تسرب الزيت إلى الخارج وتقل تراكماته.

لذلك فإنه بينما يتكون الزيت فى نافذة الزيت تحت سطح الأرض إلا أنه قد يكتشف فى طبقات أعلا من ٧٥٠٠ قدم، حيث يكون أحيانا قريبا من سطح الأرض. يتسرب بفعل الضغوط تحت سطح الأرض ويكون بركا من الزيت فوق سطح الأرض.

حدث هذا التسرب فى الزيت القديم حول كل الأماكن الغنية بالزيت فى منطقة الشرق الأوسط. فقد استخدم البابليون القار لطلاء القوارب ولرصف الشوارع ولقذف الكتل المشتعلة بواسطة المحاريين أثناء المعارك البحرية، كما استخدم كطلاء وكعلاج طبى.




شكل (٢/١)




شكل (٢/٢)

أشكال توضح مراحل الإنتاج من الخزان

(٢/١) المراحل الأولى حيث ضغط الخزان العـالى

(٢/٢) المراحل التالية حيث انخفاض ضغط الخزان

والذى دعا إلى وجود الزيت فوق نافذة الزيت هو الحركة المستمرة للقشرة الأرضية حيث الدفع من أسفل إلى أعلا، بالإضافة إلى الاحتكاك على طول الطبقة العليا خلال ملايين السنين. لذلك، فإن البترول يمكن أن يجد طريقه نحو السطح فى بعض الاماكن النادرة. رمال القار فى كندا (Athabaka) هى رواسب زيت قديمة التى تعرضت لعوامل جيولوجية وجوية بما سمح لسائل البترول الخفيف أو يتبخر خلال المئات من السنين.

كثير من الزيت المكتشف والذى تم استخراجه أثناء فترة نضوج صناعة البترول، وجد تحديدا قريبا من نافذة البترول؛ ذلك لأن الكتل القارية تمر من آن إلى آخر خلال تحركات أرضية (Tectonic) حيث يحدث الاندفاع الجيولوجى لأعلى ولأسفل.

الزيت المكون بالطريقة التى تم توضيحها يكون مركزا فى أحواض أو حقول منفصلة وفى أجزاء معينة من العالم ذات مساحة صغيرة نسبيا مقارنة بالمساحة الجيولوجية الكلية للأرض، وهى تكونت تحت أحواض البحار القديمة حيث مواد الغذاء تم احتجازها لغذاء الكائنات المكونة للكيروجين (Kerogen Forming Organisms).

ب- ما هو معروف عن جيولوجيا زيت البترول أنه لا توجد احتياطيات ليست مستنفده أسفل نافذة البترول، كما أنه ليس من المحتمل أن الحقول المعروفة يمكن إثراؤها من أى مصدر آخر أكثر عمقا من القشرة الأرضية كما يعتقد البعض.

فى الواقع فإن كل المنظمات الموثوق بها توافق على أن هذه الجيوب الثمينة المحتوية على زيت البترول سوف تذهب كلها بنهاية القرن الواحد والعشرين وذلك فى حالة عدم زيادة معدل استغلالها، وسوف تظهر مشاكل كثيرة بمجرد المرور فوق قوس منحنى الذروة العالمية والبدء فى الهبوط نحو الجانب الآخر من المنحنى.

## ٣ - الزيت والصناعة :

لقد ظهرت صناعة استخراج البترول الخام فى فجر القرن التاسع عشر حول التسريات السطحية فيما هو معروف حاليا، برومانيا، حيث تم تقطير جزء صغير من الكيروسين من هذا الخام، وكان البترول السطحى يسمى زيت الصخر (Rock Oil).

أما الصناعة الحديثة للزيت فقد بدأت منذ عام ١٨٥٩ عندما قام أدوينل، دريك (Edwinl, Drake) بالحفر بالقرب من تسربات فى مزرعة شمال غرب بنسلفانيا باستخدام تقنية تدار بالبخار المصممة لآبار المياه، وذلك للحفر حتى ٧٥ قدما، حيث

تدفق الزيت إلى أعلا فى الماسورة لملء كل البرميل الفارغ، ولقد كانت هذه مغامرة تجريبية.

النمو فى صناعة البترول بدأ بعد حفر السيد دريك للبئر حيث كان عصر الصناعة قد بدأ باستخدام الخشب، الفحم، الماء. الاستخدام الأولى للزيت كان للإضاءة الداخلية، بما تسبب فى زيادة حركة الهجرة من الريف إلى المدن الصناعية الأمريكية بسبب الاستمتاع بالإضاءة. ولقد كان أفضل أنواع زيوت الإضاءة المتاح فى ذلك الوقت هو زيت العنبر المستخرج من رأس الحوت، وهذا الزيت مكلف وصعب الحصول عليه وقل استغلاله لصعوبة صيد الحيتان. وفى هذه الأثناء وفى كثير من المدن الأمريكية تم استخدام الغاز (Gas Works) المنتج من تقطير الفحم والذى كان استخدامه الرئيسى لإضاءة الشوارع، ولقد كان لاستخدام غاز الفحم هذا فى الإضاءة المنزلية الكثير من السلبيات. ولكن المادة المقطرة الجديدة تلك المشتقة من الزيت الصخرى (الكيروسين) كانت مفضلة فى الاستخدام ولا تحتاج إلى بنية أساسية من خطوط المواسير.

وفى المصانع حيث الآلات سريعة الحركة وذات الأجزاء الساخنة التى كانت فى حاجة إلى مزلقات (Lubricants) ذات الأساس من الزيت لاستبدال دهن الخنزير. وتلا ذلك استخدامات كثيرة لمشتقات البترول.

بعد ذلك زاد إنتاج زيت البترول، وكذلك كانت معامل التكرير صغيرة وفى حدود المشروعات العلمية. وعند بداية الحرب الأهلية كانت مصابيح الكيروسين هى التقنية الجديدة.

بالاختصار منذ عام ١٩٨٦ وخلال الثلاثين عاماً التالية، احتكر روكفلر معظم إمكانيات التكرير والتسويق لصناعة البترول الجديدة. فى هذا التوقيت قام مجموعة من المستثمرين فى الدول الأوروبية بتكوين شركات للبحث عن البترول حول باكو فى شمال روسيا قريبًا من بحر قزوين مثل شركات شل والتى صارت من الشركات العملاقة العالمية. ولقد بدأ الصراع نحو زيت البترول فى السوق العالمى، ثم زادت الاكتشافات حيث انتقل استخدام البترول من الإضاءة والتزليق إلى الجازولين (بنزين العربات) لتسيير السيارات بعد أن قام هنرى فورد بتطوير خط الإنتاج فى ١٩١٣، ومع زيادة استخدام السيارات زاد الاهتمام بإنشاء الطرق ورصفها حيث زاد استخدام الأسفلت.

**٤ - الحرب بالبترول ومن أجل البترول :**

لقد أظهرت الحرب العالمية الأولى أول استخدام للطائرات فى المعارك الحربية بعد أن كان استخدامها للاستعراضات فقط، وذلك بسبب استخدام وقود الطائرات من مشتقات البترول. وقد كانت الحرب العالمية الثانية بالبترول ومن أجل البترول. فقد حاول الألمان واليابانيون إمداد نفوذهم إلى مناطق إنتاج البترول البعيدة لضمان استمرار تنمية اقتصادياتهم الصناعية. فقد اتجهت اليابان إلى الجنوب نحوب أندونيسيا حيث كانت حقول البترول المنتجة منذ عام ١٨٩٠، ولكن قامت أمريكا بإغراق ناقلات البترول اليابانية لحرمان آلة الحرب اليابانية من الوقود. وكذلك اتجهت ألمانيا نحو منطقة باكو فى جنوب روسيا وذلك لإخراج روسيا من الحرب وحرمانها من إمدادات البترول، ولكن هزم الألمان فى موقعة ستالينجراد فى شتاء ١٩٤٣، حيث اعتمد الألمان بعد ذلك على الوقود (الزيت والغاز) المخلق والمصنع من الفحم.

وفى خلال الحرب العالمية الثانية كان لدى أمريكا ما تحتاجه من البترول فى مناطق مثل كاليفورنيا ولم تكن فى حاجة إلى استيراده فى ناقلات كما فعل الأوروبيون. وخلال مائة عام أو يزيد كانت أمريكا هى المستهلك الأكبر للبترول حيث بدأت صناعة السيارات فى أمريكا وكذلك كل ما هو متعلق بها، وكذلك صناعة البلاستيك، وصناعة الخيوط الصناعية باستخدام مشتقات البترول.

ولقد كانت آبار البترول فى أمريكا ذات إنتاج غزير وزاد أصحاب السيارات من ١,٨ مليون فى عام ١٩١٤ إلى ٩,٢ مليون فى عام ١٩٢٠ .

وفى عام ١٩١٩ تم اكتشاف حقول جديدة فى تكساس وأوكلاهوما، وكذلك فى فنزويلا وفى ايران وفى شرق الهند ووسط آسيا. وقد تمت الاكتشافات الكبيرة فى المملكة العربية السعودية بعد تلك الدول بعقود.

لقد كانت اكتشافات البترول فى إيران والبحرين والعراق قد جعلت من الشرق الأوسط منتجاً هاماً للبترول لمدة ثلاثين عاماً قبل البدء فى اكتشاف البترول فى السعودية.

فلقد كان أول اكتشافات بترولية فى الشرق الأوسط كان فى إيران فى عام ١٩٠٨، وأول اكتشاف على الجانب الغربى للخليج كان فى البحرين فى عام ١٩٢٠، حيث جذب انتباه شركة بترول كاليفورنيا نحو منطقة الجزيرة العربية.

وأول اكتشاف للبترول فى السعودية فى عام ١٩٢٣ وكان هذا فى حقول بترول الدمام. وكان اكتشاف حقول بترول أبكايك (Abqaiq) ، غاوار (Ghawar) فى عام

١٩٤٠ . تلا ذلك العديد من الاكتشافات فى السعودية منذ عام ١٩٥١ فى الستينيات والسبعينيات والثمانينيات من القرن الماضى. ثم بدأ البحث عن البترول فى مياه الخليج فى الحدود البحرية السعودية حيث اكتشف حقل سافانيا وهو ثانى أكبر حقول البترول فى السعودية. وأول حقل بترول كبير تم اكتشافه فى المنطقة العربية كان حقل كركوك فى العراق عام ١٩٢٧ . وكان اكتشاف حقل كركوك الدافع نحو البحث عن البترول فى الشرق الأوسط لمدة خمسة عقود.

وفى عام ١٩٣٠ ، ١٩٤٠ وجدت أكبر حقول البترول فى إيران. بما فيها حاش سارات فى ١٩٣٥ ، أغاجارى فى ١٩٤٤ .

وقد زاد احتياطى العالم من ٦٢ مليار وبرميل فى عام ١٩٤٨ إلى ٥٣٤ مليار برميل عام ١٩٧٤ ، ومعظمه خارج الولايات المتحدة والدول الشيوعية وأن ٨٠٪ من هذا الاحتياطى فى الشرق الأوسط.

ولقد كانت ذروة الإنتاج ١١,٣ مليون برميل فى اليوم فى عام ١٩٧٠ وقد هبط إلى ٩ مليون برميل فى اليوم فى منتصف ١٩٨٠ فى الولايات المتحدة.

## الصدمات البترولية

بعد حرب فيتنام استقبلت أمريكا صدمة قيام الدول المصدرة للبترول الأوبك (OPEC) بحظر تصدير البترول فى عام ١٩٧٣ .

ولم تكن هى الأولى حيث حدثت اضطرابات فى إمدادات زيت البترول منذ ١٩٥١ حتى ٢٠٠٠ كما فى الجدول التالى

**جدول (٢/١): اضطراب الإمداد بالبترول**

| تاريخ اضطراب الإمداد بالبترول | فترة التوقف بالشهور | متوسط النقص الكلى مليون برميل فى اليوم | أسباب الاضطراب فى الإمداد بزيت البترول |
|---|---|---|---|
| ٥١/٣ ـ ٥٤/١٠ | ٤٤ | ٠,٧ | تأميم حقول بترول إيران بواسطة حكومة مصدق ونفى الشاه، ثم سقوط مصدق وعودة الشاه وإلغاء التأميم بعد الاضطراب فى عبدان |

تابع

| تاريخ اضطراب الإمداد بالبترول | فترة التوقف بالشهور | متوسط النقص الكلى مليون برميل فى اليوم | أسباب الاضطراب فى الإمداد بزيت البترول |
|---|---|---|---|
| ٥٦/١١ ـ ٥٧/٣ | ٤ | ٢ | حرب العدوان الثلاثى على مصر |
| ٦٦/١٢ ـ ٦٧/٣ | ٤ | ٠,٧ | النزاع نحو انتقال السوريين عبر الأراضى |
| ٦٧/٦ ـ ٦٧/٨ | ٢ | ٢, | عدوان ٦٧ |
| ٧٠/٢ ـ ٧١/١ | ٩ | ١,٣ | الخلاف الليبى حول سعر البترول |
| ٧١/٤ ـ ٧١/٨ | ٥ | ٠,٦ | معركة التأميم الفرنسية - الجزائرية |
| ٧٣/٣ ـ ٧٣/٥ | ٢ | ٠,٥ | اضطرابات فى لبنان، تدمير منشآت الترانزيت |
| ٧٣/١٠ ـ ٧٤/٣ | ٦ | ٢,٦ | حرب أكتوبرمع إسرائيل |
| ٧٦/٤ ـ ٧٦/٥ | ٢ | ٠,٣ | الحرب الأهلية فى لبنان، اضطرابات فى صادرات العراق |
| ٧٧/٥ | ١ | ٠,٧ | تدمير حقل بترول فى السعودية |
| ٧٨/١١ ـ ٧٩/٤ | ٦ | ٣,٥ | بداية حرب العراق / إيران |
| ٩٠/٨ ـ ٩٠/١٠ | ٣ | ٤,٦ | غزو العراق للكويت |
| ٩٩/٤ ـ ٢٠٠٠/٣ | ١٢ | ٣,٣ | قيام الأوبك باستثناء العراق بقطع الإنتاج بهدف زيادة الأسعار |

في عام ١٩٧٣ كان لدى السعودية طاقة إنتاجية مهولة حيث كان لديها من الزيت ما يزيد عن ما لدى الولايات المتحدة منذ مائة عام، وإن كانت السعودية قد دخلت الاكتشافات والإنتاج بعد الولايات المتحدة بكثير. فقد بدأت مباحثات البحث عن البترول منذ عام ١٩٣٠ وتوقفت بسبب الحرب العالمية الثانية ثم استؤنفت الاكتشافات بعد الحرب العالمية الثانية. وفي عام ١٩٧٠ كان بداية دخول السعودية في الإنتاج الحقيقي، حيث كان الإنتاج بواسطة مجموعة شركات سميت أرامكو (Aramco) .

في ما قبل عام ١٩٧٠ كان الطلب العالمي على زيت البترول يتراوح ما بين ١٩ مليون برميل في اليوم عام ١٩٦٠ إلى ٤٤ مليون برميل في اليوم عام ١٩٧٢ . وكانت أوروبا قد أفاقت من الحرب وبدأت في تنمية الصناعة وكذلك البنية التحتية من الطرق ومحطات الطاقة وتسيير السيارات بما ترتب عليه زيادة الطلب على الإمداد بزيت البترول. ومع توقف ضخ البترول عن دول الغرب في عام ١٩٧٣ وزيادة سعر برميل البترول الا أن البترول كان يصل إلى أمريكا عن طريق دول أخرى.

قام جيمي كارتر بمحاولة لإيقاظ أمريكا (بعد إزاحة نيكسون)، وذلك على أساس أن أزمة الطاقة هي حالة مستمرة إلى حد ما والتي تتطلب إسدال الستار عن مصادر الطاقة التقليدية (غير المتجددة) في أمريكا. لقد حاول كارتر تنمية المصادر الكهربية من المساقط المائية (الهدروكهربائية) وخاصة على المستويات الصغيرة المحلية، واعادة بدء مشروع نيكسون نحو تطوير الهدروكربونات المخلقة من الفحم ومصادر الطاقة البديلة. ولكن أعلن جيمي كارتر في أبريل ١٩٧٧ بعد أن شعر بقسوة حظر تصدير البترول في أكتوبر ١٩٧٣ أن أزمة الطاقة لن تحل إلا بالحرب. ولكنه أقام السخانات الشمسية على سقف البيت الأبيض، إلى حين وضع الخطط الاستراتيجية للسيطرة على البترول وخاصة العراق حيث تم ذلك بواسطة بوش الأب والابن، وكانت العراق هي الهدف لكونها تمتلك احتياطيات كبيرة من النفط رغم أن ما تم استكشافه من أراضيها لا يزيد عن ١٠ ٪ من مساحة العراق. وهناك تقديرات أن ٩٠ ٪ من مساحة العراق التي تقع في اتجاه الغرب بها احتياطيات تكفي لمدة ٥٠٠ عام.

## ٥ - الإطار العام للاستهلاك العالمى للطاقة :

التحليل المرتبط باستهلاك الطاقة على مستوى العالم يبين أن الدول المتقدمة مثل الولايات المتحدة، ودول الاتحاد السوفيتى سابقًا، ودول غرب أوروبا تمتص ما يزيد عن ٨٠٪ من إجمالى الطاقة العالمية وذلك مقابل ١٤٪ الذى تستهلكه الدول النامية.

بالنسبة للتوقعات المستقبلية فإن الموقف سوف لا يتغير كثيرا، ذلك رغم القيود على استخدام الطاقة التى فرضتها الدول المتقدمة. هذا الوفر سوف يكون فى حدود ٥٪، بالنسبة للولايات المتحدة الأمريكية سيصل إلى ٥٪ بصعوبة، ٤٪ لدول الاتحاد السوفيتى السابق، الباقى سوف ينعكس على الدول النامية، ولكنها سوف تزيد من معدل زيادة الاستهلاك لليابان فى العقدين الأخيرين. الإحصائيات حول إنتاج واستهلاك الطاقة بالنسبة لعدد السكان موضح فى الجدول الآتى :

**جدول (٢/٢) : إنتاج واستهلاك الطاقة بالنسبة لعدد السكان (١٩٩٠)**

| الدولة | إنتاج الطاقة بالمليون طن مكافئ بترولى | استهلاك الطاقة بالمليون طن مكافئ بترولى | التعداد بالمليون |
|---|---|---|---|
| كندا | ١٨٠ | ١٩٥ | ٢٣ |
| الولايات المتحدة | ١٣٦٥ | ١٧٢٧ | ٢١٤ |
| أمريكا اللاتينية | ٢٨١ | ٢٩٩ | ٣٢٤ |
| غرب أوروبا | ٤٤٦ | ١٢٠١ | ٣٦٧ |
| الشرق الأوسط | ١٠٠٢ | ٩٧ | ١٠٩ |
| أفريقيا | ٣٠٦ | ١٢٠ | ٢٩٢ |
| الاتحاد السوفيتى سابقا | ١١٠٦ | ١٠٢٢ | ٢٥٥ |
| الصين | ٣٩٩ | ٣٨٨ | ٨٣٩ |
| اليابان | ٢٥ | ٣٤٠ | ١١١ |
| شرق وجنوب شرق آسيا | ٢٢٣ | ٢٥٩ | ١٣٠٦ |
| أستراليا | ٧٨ | ٧٣ | ٢١ |
| الإجمالى | ٥٧٣٠ | ٦١٢٣ | ٣٩٦٧ |

حدود الفجوة فى مجال الطاقة يمكن ملاحظته بمعدل استهلاك الفرد فى مختلف الدول والذى يزداد بشدة فى الدول الصناعية الغربية. فدول غرب أوروبا تستهلك ثلاثة أضعاف إنتاجها، بينما دول الشرق الأوسط تستهلك ما لا يزيد عن ١٠٪ من إنتاجها.

التحليل القطاعي لاستهلاك الطاقة في الدول المتقدمة والدول النامية يبين أن حوالى ٣٥٪ من الطاقة يستهلك في الصناعة والقليل جدا في الزراعة. ولكن في الدول المتقدمة مثل الولايات المتحدة الأمريكية رغم الزيادة الكبيرة فى استخدام الطاقة فى الصناعة إلا أنها لا تمثل أكثر من ٢٥٪ من إجمالى استهلاك الطاقة؛ ذلك لأنه فى الدول المتقدمة يكون الاستهلاك المنزلى للطاقة أعلا بكثير مقارنة بالدول النامية.

للتوضيح فإن الجدول التالى يبين مقارنة استهلاك الطاقة لعدد من الدول كنموذج للدول المتقدمة والدول النامية.

**جدول (٢/٣) : مقارنة استهلاك الطاقة لعدد من الدول**

| نوع الاستهلاك | استهلاك الطاقة ٪ | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | الولايات المتحدة | المملكة المتحدة | السودان | السويد | الهند |
| الصناعة | ٢٥ | ٣٦ | ٧ | ٤٩ | ٣٦ |
| المنزلى | ٢٩ | ٢٦ | ٦١ | ٢٤ | ١٨ |
| التنقل | ٢٥ | ٢٣ | ٢٠ | ١٣ | ٣١ |
| الزراعة | ٢ | ٣ | ٧ | – | ١٠ |
| خلافه | ٢٥ | – | ٥ | – | – |

## ٦ - منظمة الدول المصدرة للبترول (الأوبك) (OPEC)

**Organization Of Petrolium Exporting Countries**

أنشئت منظمة الدول المصدرة للبترول فى مؤتمر عقد فى بغداد يوم ١٠ سبتمبر ١٩٦٠ . الأعضاء المؤسسون هم: إيران والعراق والكويت والسعودية وفنزويلا، وانضمت لعضوية المنظمة بعد ذلك قطر (يناير ١٩٦١) وليبيا وأندونيسيا (يونيو ١٩٦٢). وفى ٥ أبريل ١٩٦٥ عدلت المنظمة شروط العضوية حيث اشترطت فى

العضو الجديد أن تكون مصالحه متشابهة مع مصالح الدول الأعضاء، وأن يحوز موافقة ثلاثة أرباع الأعضاء، على أن يكون من بينهم جميع الأعضاء المؤسسين (ويجوز أن يقبل كعضو منتسب كدولة مصدرة للبترول ولها مصالح وأهداف مماثلة وإن لم تتوفر لها شروط العضوية الكاملة وذلك بنفس شروط التصويت للعضوية الكاملة).

وقد انضم إلى عضوية المنظمة بعد ذلك أبوظبى (نوفمبر ١٩٦٧) والتى أصبحت دولة الإمارات العربية المتحدة هى البديل لأبوظبى بعد إعلان قيامها فى عام ١٩٧٠ . والإكوادور (نوفمبر ١٩٧٣) وجابون (كعضو منتسب فى نوفمبر ١٩٧٣ ثم كعضو عامل فى يوليو ١٩٧٥) . وبذلك اكتملت العضوية عند ١٣ عضواً ولكنها تراجعت خلال عقد التسعينيات إلى ١١ عضواً بانسحاب إكوادور والجابون لعدم قدرتهما على تحمل نصيب متساو فى موازنة المنظمة مع باقى الأعضاء. وبذلك أصبح أعضاء منظمة الأوبك ١١ عضواً منهم ٧ دول عربية هى السعودية، الإمارات، الكويت، قطر، العراق، الجزائر، ليبيا وأربعة دول غير عربية وهى إيران، نيجيريا وفنزويلا وأندونيسيا.

**وتتلخص الأهداف الرئيسية للمنظمة فيما يلى :**

١ – تنسيق وتوحيد السياسات البترولية للدول الأعضاء وتحديد أفضل الوسائل لحماية مصالحها منفردين أو مجتمعين.

٢ – وضع الوسائل الكفيلة بتحقيق استقرار الأسعار العالمية للزيت الخام.

٣ – توفير إمدادات بترولية للدول المستهلكة بشكل منتظم وكفء.

٤ – تحقيق عائد للعاملين فى صناعة البترول.

جدول (٤/٢) : حجم صادرات أوبك النفطية فى الأعوام ١٩٩٨ - ٢٠٠٢ بالمليار دولار بمستواه فى ٢٠٠٥ .

| الدولة | ١٩٩٨ | ٢٠٠٤ | ٢٠٠٥ |
|---|---|---|---|
| السعودية | ٣٩,٧ | ١١٥,٦ | ١٦٤,٧ |
| الإمارات | ١٠,٩ | ٣٠,٢ | ٤٩,٧ |
| الكويت | ٩,١ | ٢٧,٤ | ٤٢,٥٨ |
| قطر | ٣,٩ | ١٣,٥ | ١٨,٦٣٤ |
| العراق | ٧,٦ | ١٨,٢ | ٢٣,٤ |
| الجزائر | ٦,٤ | ٢٢,٧ | ٣٢,٨٨٢ |
| ليبيا | ٦,٧ | ١٨,٢ | ٢٨,٣٢٤ |
| ايران | ١١,٩ | ٣٢,٢ | ٤٨,٢٨٦ |
| نيجيريا | ٩,٩ | ٢٩,٨ | ٤٦,٧٧ |
| فنزويلا | ١٣,٥ | ٢٩,٨ | ٤٨,٠٥٩ |
| أندونيسيا | ٣,٥ | ٠,٦ | ٩,٢٤٨ |
| الإجمالى | ١٢٣,٢ | ٣٣٨,٣ | ٩٢,٥٩٦ |

## أوبك وتعديل أسعار البترول :

إن إنشاء منظمة الأوبك فى عام ١٩٦٠، كان كفيلا بتحقيق جانب من آمال الأعضاء وأغلبها دول عربية، إلا أن الخلافات التى سادت بين النظم الحاكمة فى المنطقة العربية منذ منتصف الخمسينيات وانتهت بهزيمة يونيو ١٩٦٧ لم توفر لها المساندة السياسية والعسكرية الكافية لتحقيق تلك الآمال. ومن ثم ساد الاعتقاد بأن شوكة العرب قد انكسرت وأن ثروتهم البترولية سوف تستمر فى التدفق إلى الدول الصناعية المستهلكة للبترول وبالأسعار التى تراها تلك الدول محققة لمصالحها.

على أن عقد الستينيات لم يخل من إنجازات وإن كانت متواضعة . حيث نجحت ثورة ليبيا فى إبرام اتفاقية طرابلس مع الشركات العالمية عام ١٩٧٠، كما أعقبتها اتفاقية طهران التى أبرمتها مع شركات دول الخليج البترولية فى مستهل عام ١٩٧١ حيث زيد سعر بترول الخليج، وكانت المفاوضات الشاقة التى أجرتها الأوبك مع الشركات العالمية على مدى أربع سنوات (من يناير ١٩٧٠ إلى ١٥/١٠/١٩٧٣)

وأبرم نتيجة لها اتفاقيات طرابلس وطهران لم تسفر عن زيادة تذكر، وكان أقصى ما توصلت إليه الدول المصدرة للبترول خلال تلك الفترة هو ارتفاع نصيبها من ٠,٩١ سنت للبرميل إلى دولارين، وحتى هذه الزيادة الهزيلة كانت عرضة للتآكل فى قيمتها الحقيقية نتيجة لخفض قيمة الدولار والارتفاع الكبير فى معدلات التضخم. وكان هذا هو الوضع خلال الفترة التى سبقت حرب أكتوبر. ومع أن مطالب دول الأوبك كانت تنحصر فى إطار العلاقات التجارية بينها وبين الشركات المتعاملة معها، إلا أن نيكسون رئيس الولايات المتحدة آنذاك لم يتردد فى تحذير القادة العرب بصورة علنية فى المؤتمر الصحفى الذى عقد فى البيت الأبيض يوم ٥ سبتمبر ١٩٧٣ بأنهم سيخسرون أسواقهم إذا استمروا فى المطالبة بزيادة الأسعار ومذكرا إياهم بمصير الدكتور مصدق عندما قام بتأميم البترول الإيرانى. وقد كانت هذه الغطرسة نذيرا للعرب بأن المطالبة بزيادةأسعار البترول وعوائدهم منه لا يمكن أن تتجاوز الحدود التى تقدرها الدول المستهلكة للبترول بمعاونة شركات البترول العالمية.

وقد عقد اجتماع وزارى استثنائى لدول الأوبك فى فيينا يوم ١٥ – ١٦ سبتمبر ١٩٧٣ للتفاوض بصورة فردية أو جماعية مع الشركات لرفع الأسعار، حيث تحدد بدء المفاوضات يوم ٨ أكتوبر فى فيينا. كانت المعارك قد سبقت هذا الموعد بيومين حيث كان السعر قد بلغ ٣ دولارات وارتفع إلى ٣,٢٥ دولارات للبرميل لتصحيح معدل التضخم ليكون ٨٪ .

ومع نتائج حرب أكتوبر اشتدت عزيمة المفاوضين العرب ومعهم إيران، حيث عرضت الشركات رفع نسبة الزيادة إلى ١٥٪ لكى يصبح السعر ٣,٤٦ دولارات للبرميل إلا أن فريق الخليج رفض هذا الاقتراح وطالب أن تكون الزيادة ١٠٠٪ ، إلا أنه كان مستعدا لقبول ٧٠٪ بحسب الدراسة التى أعدتها فى ذلك الوقت منظمة الأوبك. عندئذ رفضت الشركات حيث يلزم التشاور مع حكومات الدول المستهلكة للبترول (وهذا ما يؤكد ارتباط البترول بالسياسة، ابتداء بحرب السويس عام ١٩٥٦ ، مرورا بعام ١٩٦٧ ، واستمرارا منذ حرب ١٩٧٣ حتى حرب الخليج ١٩٩٠ وما تلاها من وجود عسكرى غربى فى منطقة الخليج.

وبعد أن توقفت المفاوضات يومى ١٠ ، ١١ أكتوبر استطلعت الشركات خلالها آراء عدد من الحكومات الرئيسية المستهلكة للبترول، إلا أن رد الحكومات جاء سلبا وبالإجماع تقريبا، وطالب ممثلو الشركات من دول الأوبك يوم ١٢ أكتوبر تأجيل

المفاوضات لمدة أسبوعين لإجراء مفاوضات مع الدول المستهلكة للبترول وكانت بشائر الانتصار العربى قد تأكدت، فرفض وزراء البترول فى منطقة الخليج ذلك الاقتراح وتوقفت المفاوضات.

وفى يوم ١٦ أكتوبر شهد فندق شيراتون الكويت اجتماع وزراء دول الخليج الأعضاء فى أوبك وهم السعودية، والكويت، والعراق، والإمارات، وقطر بالإضافة إلى إيران حيث تقرر من جانب واحد ولأول مرة فى تاريخ صناعة البترول، زيادة سعر البترول بنسبة ٧٠٪ وبذلك ارتفع السعر من ٣ دولارات إلى ٥,١٢ دولارات للبرميل.

وفى اليوم التالى (١٧ أكتوبر) عقد اجتماع لوزراء الدول العشر الأعضاء فى منظمة الأقطار العربية المصدرة للبترول (أوبك) وكانت مصر عضوا فيها. وقد تقرر فى ذلك الاجتماع خفض إنتاج البترول بنسبة ٥٪ شهريا، كما تلاه اجتماع ثان يوم ٤ نوفمبر حيث تقرر أن يكون الحد الأدنى للخفض ٢٥٪ حتى ذلك التاريخ مع الاستمرار فى الخفض الشهرى بنسبة ٥٪. ولأن إنتاج دول الأوبك كان عند الطاقة الإنتاجية القصوى خلال شهر سبتمبر ١٩٧٣، فلم يكن فى مقدور الدول غير العربية تعويض الخفض فى الإنتاج العربى. وبذلك انخفض إنتاج البترول العربى من نحو ١٩,٩ مليون برميل فى اليوم خلال شهر سبتمبر ١٩٧٣ إلى نحو ١٥,٣ مليون برميل فى اليوم وبنسبة ٢٣٪. أما باقى دول الأوبك وهى إيران وفنزويلا ونيجيريا وأندونيسيا فلم يرتفع إنتاجها خلال الفترة المذكورة بأكثر من ٣٪ (من ١٢,٨ مليون برميل فى اليوم إلى ١٣,١ مليون برميل فى اليوم). وبذلك انخفض إنتاج أوبك نتيجة لانخفاض إنتاج الدول العربية الاعضاء بها من نحو ٣٢,٦ مليون برميل فى اليوم إلى ٢٨,٤ مليون برميل فى اليوم بنسبة ١٣٪.

### ٧ - المقاطعة البترولية:

نتيجة لإعلان نيكسون يوم ٢٠ أكتوبر عن صفقة مساعدات عسكرية مقدارها ٢,٢ مليار دولار لإعادة تسليح إسرائيل، أعلنت المقاطعة البترولية لكل من الولايات المتحدة وهولندا التى تبنت موقفا معاديا أثناء اجتماع السفراء العرب فى لاهاى، وأضيفت البرتغال إلى دول المقاطعة لسماحها باستخدام مطاراتها فى إمداد إسرائيل بالمعدات العسكرية. غير أن المقاطعة البترولية العربية لم تلبث أن أخذت فى التراخى وتلاشت إلى حد كبير فى نهاية مارس ١٩٧٤ عندما تم رفعها بالنسبة للولايات

المتحدة. على قدر ما قلبت أزمة ١٩٧٣ موازين العلاقات القديمة، فقد جاءت ردود الفعل من جانب الدول الغربية عنيفة وغاضبة. ففى مستهل ١٩٧٤ وجه الرئيس الأمريكى «نيكسون» الدعوة إلى حكومات الدول الصناعية الكبرى المستوردة للبترول لحضور اجتماع فى واشنطن يوم (١٩٧٤/٢/١١) حيث عهد إلى وزراء خارجية تلك الدول إعداد برنامج عمل مشترك على نحو يضمن كفاية المتوفر من الزيت وبأسعار مقبولة بين المنتج والمستهلك وكذلك تنمية مصادر الطاقة البديلة.

وقد كانت أزمة ١٩٧٣ على غير أزمة ١٩٥٦ تقتصر على تهديد الإمدادات البترولية من حيث الحجم، بل أضافت بعدين جديدين هما السيطرة الكاملة على إنتاج البترول فى الدول المصدرة من أيدى الشركات الغربية إلى أيدى حكومات الدول المضيفة، وقد شمل ذلك السيطرة على تحديد حجم الإنتاج والأسعار، ثم البعد المالى الذى ترتب على تصحيح أسعار البترول ونتج عنه انتقال وتراكم أرصدة كبيرة من الدول المستهلكة للبترول إلى الدول المصدرة له.

وعلى طريق المواجهة الذى بدأته الدول الصناعية الغربية ضد أوبك لم تقتصر تلك الدول على تدعيم قوتها التفاوضية بالطرق السلمية، بل عمدت إلى إطلاق التحذيرات والتهديد باستخدام القوة العسكرية، ففى أواخر سبتمبر ١٩٧٤ ألقى الرئيس الأمريكى «فورد» كلمة فى مؤتمر الطاقة فى ديترويت ألمح فيها إلى احتمال التدخل المسلح لاحتلال منابع البترول. وقبل ذلك بأيام ألقى وزير الخارجية كيسنجر كلمة تحذير مماثلة فى اجتماع الجمعية العامة للأمم المتحدة، وإن كان قد أشار إلى إمكانية مناقشة أسعار البترول فى اجتماع يضم الدول المصدرة والدول المستوردة معا.

وقد عادت نغمة التهديد باستخدام القوة العسكرية تتردد مرة ثانية فى أعقاب الحركة الثانية لتصحيح أسعار البترول فى أعقاب الثورة الإيرانية عام ١٩٧٩، كما نشطت أجهزة الدول الصناعية الغربية لمواجهة الموقف المتأزم.

وكما هو معروف فقد تحقق بالفعل الوجود العسكرى للولايات المتحدة وبريطانيا فى منطقة الخليج نتيجة للأزمة التى نشأت باحتلال العراق للكويت.

كما أن الدول الصناعية المستورد الرئيسى للنفط تدعو وترعى العولمة التى تقوم على حرية التجارة، إلا أنها لا تقبل معاملة شركاتها فى تجارة النفط، أصحاب النفط معاملة الند التجارى، بل ولا تتردد فى الضغط عليهم بكافة الوسائل للإبقاء على سعره متدنيا.

ويرجع السبب إلى التقلبات الحادة فى سعر النفط إلى ممارسة الدول الصناعية الغربية التى تعتمد على الاستيراد لمواجهة أكثر من نصف احتياجاتها النفطية من ضغوط للإبقاء على الأسعار عند مستوى متدن. وإن كان قد وصل إلى ٦٥ دولارا للبرميل عام ٢٠٠٦، إلا أن هذا يعادل فى صورته الحقيقية ما تم تصحيحه بفضل انتصارات أكتوبر ١٩٧٣ وبلغ وقتها ١١,٦٥ دولارا.

### ٨ - النضوب وشح النفط :

معدل النضوب (Outtake) هو مقياس نسبى لحجم الإنتاج السنوى مقسوما على حجم الاحتياطيات التى تم اكتشافها وتنميتها، ويعبر عن معدل النضوب بمعكوس معيار العمر الافتراضى للاحتياطيات، وهو ناتج قسمة الاحتياطيات على الإنتاج السنوى (R/P) . فإذا كان R/P = الاحتياطيات ١٠٠ وحدة والإنتاج السنوى ١٠ وحدة فإن النضوب R/P = ١٠٠ ÷ ١٠ = ١٠ سنوات، أى أن معدل النضوب ١٠ ٪ ؛ بمعنى أن الإنتاج السنوى يعادل ١٠ ٪ من الاحتياطيات التى تم تنميتها وصارت قابلة للإنتاج، ويعتمد تحديد معدل النضوب من ناحية على قرار السلطة القائمة بتحديد حجم الإنتاج (الدولة المنتجة كمثال) كما يعتمد من ناحية أخرى على خواص الخزان الجوفى (Reservoir) . فالحقول ذات المكونات الرملية يمكن أن تعطى معدلات للنضوب فى حدود ١٥ ٪، بينما ينخفض معدل النضوب فى الحقول الصدعية (Fractured) إلى ما بين ٢ إلى ٥ ٪ فقط. ويمكن رفع معدل النضوب بحفر المزيد من الآبار فى الحقول المكتشفة، أى بالتوسع فى تنمية الحقل، أو برفع الضغط فى الآبار عن طريق ضخ المياه أو الغاز، أو بالرفع الآلى، وغير ذلك من و سائل الاستخلاص المتقدمة. ويقدر معدل النضوب الحالى فى دول الأوبك بنحو ٢ ٪ فى المتوسط (أى بعمر افتراضى للاحتياطيات ٥٠ سنة) فإن بعض الدراسات الغربية تشير إلى أنه من الممكن أن يبلغ الحد الأقصى لمتوسط معدل النضوب فى دول الأوبك ٧ ٪. أما الحد الأقصى لمعدل النضوب فى الدول غير الأعضاء فى أوبك فيقدر بنحو ٦ ٪ فى المتوسط. ويقدر فى الولايات المتحدة بنحو ١٠ ٪.

### ازدياد شح النفط عبر المستقبل المتطور :

يؤكد خبراء الجيولوجيا أن العالم لم يتمكن من تعويض ما استخرج من النفط الخام على مدى السنوات العشرين الماضية، ومن ذلك كما يوضح تقرير

حديث لمجموعة (IHS Energy Groups) أن اثنتى عشرة دولة مسئولة عن إنتاج ثلث الإنتاج العالمى من النفط لم تستطع خلال السنوات العشرين من ١٩٩٢ - ٢٠٠١ تعويض ما نضب من احتياطياتها إلا بنسب ضئيلة. بل إن أهم الدول المنتجة وهى روسيا والمكسيك والنرويج وبريطانيا يتراوح معدل النضوب فيها بين ١٥٪ إلى ٢١٪.

تخلص بيانات المساحة الجيولوجية الأمريكية (U S G S) لعام ٢٠٠٢ إلى أن الاحتياطيات النفطية العالمية المؤكدة تقدر بنحو ٩٥٩ مليار برميل، كذلك تقدر أن احتياطيات أوبك المؤكدة بنحو ٦١٢ مليار برميل.

وكذلك تبنت وكالة الطاقة الدولية (IEA) التى أنشئت عام ١٩٧٤ لخدمة مصالح الدول الصناعية الغربية فى مجال الطاقة والنفط، وفى تقريرها الذى أذاعته عام ١٩٩٨، توجها ينذر بالعجز المتوقع فى الموارد النفطية بحلول عام ٢٠٢٠. وتتوقع الوكالة أن يبلغ إنتاج النفط التقليدى ذروته فى منتصف العقد الثانى من القرن الواحد والعشرين (أى حوالى عام ٢٠١٥) ليبدأ بعد ذلك رحلة النضوب الطبيعى. وبصرف النظر عما آلت إليه تقديرات الوكالة منذ إعلانها عام ١٩٩٨ فإن ما يستوقف النظر فى تقديرها أن إجمالى العرض العالمى من النفط يمكن أن يقصر بحلول عام ٢٠٢٠ عن مواجهة الطلب العالمى المتزايد، وأن العالم يمكن أن يواجه بحلول ذلك العام عجزا يقدر بنحو ١٩ مليون برميل فى اليوم، وهو ما ينبغى توفيره من مصادر نفطية غير تقليدية وغير معلومة فى الوقت الحاضر.

ولكن خلافا لرؤية الشح المتوقعة، تفترض بعد الدراسات المتفائلة ذات التوجه الغربى (ومنها دراسات EIA) أن أوبك لديها من الإمكانيات ما يمكنها من القيام بدور المنتج المكمل (Residual Producer) والتوسع فى بناء قدرتها الإنتاجية بحيث تغطى الفجوة بين الإنتاج خارجها وبين الاحتياجات العالمية المتزايدة عبر المستقبل المنظور. ومن هذا المنطلق تفترض تلك الهيئات الغربية أن القدرة العالمية لإنتاج النفط يمكن أن ترتفع من نحو ٨٢,٣ مليون برميل فى اليوم فى عام ٢٠٠٣ إلى ١٠٨ ملايين برميل فى اليوم فى عام ٢٠٢٠، وإلى ١٢٣ مليون ب/م عام ٢٠٣٠. ووفقا لتلك التقديرات، يتوقع أن تقوم أوبك بتوفير نحو ٥١ مليون ب/ى فى عام ٢٠٣٠، بما يعادل حوالى ٤٢٪ من القدرة العالمية لإنتاج النفط. كذلك تتوقع تلك المنظمات أن

تقوم روسيا بحلول عام ٢٠٣٠ بإنتاج نحو ١١,٦ مليون ب/م، وهو ما يعادل ٩٪ من القدرة الإنتاجية العالمية. وبذلك تسيطر أوبك وروسيا وهما أهم مناطق التصدير على أكثر من نصف القدرة العالمية لإنتاج النفط بحلول عام ٢٠٣٠ .

من ناحية أخرى يتوقع أن يرتفع استهلاك النفط فى الدول الصناعية الغربية أعضاء (O E C D) خلال الفترة من ٢٠٠٣ إلى ٢٠٣٠ من ٣٩ مليون ب/ى إلى نحو ٦٠ مليون ب/ى، كما يرتفع إنتاجها المحلى من ٢٣ مليون ب/م إلى ٢٦ مليون وبذلك ترتفع وارداتها النفطية من ٢٦ مليون ب/م إلى ٣٤ مليون ب/م وهو ما يمثل عجزا فى احتياجاتها يرتفع من ٥٢٪ إلى ٥٦٪ خلال الفترة المذكورة.

وفى داخل المجموعة الغربية، تشتد صعوبة موقف الولايات المتحدة التى تنفرد باستهلاك ربع الإنتاج العالمى من النفط فى الوقت الحاضر، إذ يرتفع اعتمادها على الاستيراد خلال الفترة المذكورة من ٥٦٪ إلى ٦٢٪ ، وذلك إذا صحت توقعات (EIA) واستطاعت أوبك أن تستجيب لتوسيع قدرتها الإنتاجية ورفع ما يعرف بمعدل النضوب (Outtake).

ولعل فى تلك البيانات ما يفسر لهفة الدول الغربية بقيادة الولايات المتحدة، لتأمين احتياجاتها النفطية وتركيز اهتمامها على منطقة الخليج العربى التى تضم ما يقرب من ثلثى احتياطيات النفط العالمية.

وهذا ما عبر عنه صراحة الرئيس الأمريكى بوش فى حديث له خلال أكتوبر ٢٠٠٦ بتحذير الشعب الأمريكى من خطورة الانسحاب من العراق وما يؤدى إليه من تهديد لاحتياجات الولايات المتحدة من النفط. وقد أعاد بوش تأكيده هذا حتى بعد هزيمة حزبه الجمهورى أمام الديمقراطيين فى انتخابات نوفمبر ٢٠٠٦ ، بأن قواته العسكرية سوف تبقى فى الخليج لفترة طويلة، كما أصر فى خطابه عن حالة الاتحاد (State Of The Union) يوم ٢٣ يناير ٢٠٠٧ على إرسال قوات عسكرية إضافية إلى العراق، وذلك فى عناد صارخ ضد جميع القوى المعارضة، سواء من الأغلبية البرلمانية فى مجلس الشيوخ أو النواب، أو فيما انتهى إليه تقرير بيكر - هاملتون من توصيات، أو المظاهرات الشعبية التى تطوف الولايات المتحدة منادية بالانسحاب من العراق.

وبصرف النظر عن حالة الشحة النفطية التى أوضحنا بعض معالمها، وحتى بافتراض قيام أوبك بسد فجوة العجز، فإن عدد الدول القادرة على توسيع قدرتها

الإنتاجية من أعضاء أوبك، وفقا لسيناريو نشرته (EIA) فى يونيو ٢٠٠٦، سوف يتقلص إلى نحو ٦ دول، يقع منها خمس دول فى الخليج وهى السعودية والعراق والإمارات والكويت وإيران، ويضاف إليهم فنزويلا، كما يتوقع أن تسيطر هذه الدول الست بحلول عام ٢٠٣٠ على القدرة الإنتاجية لنحو ٤٢ مليون ب/ى، وهو ما يعادل ٣٤٪ من القدرة الإنتاجية العالمية المتوقعة للنفط فى ذلك العام. وإذا انضم لهذه المجموعة باقى دول الأوبك فإن السيطرة ترتفع إلى ٥١ مليون ب/ى أو ما يعادل ٤١٪ من القدرة العالمية لإنتاج النفط.

يبقى بعد ذلك من المناطق الرئيسية المصدرة للنفط كل من روسيا ودول بحر قزوين، وهو ما يتوقع انضمامها - بحكم اشتراك المصالح - لمساندة سياسة أوبك، وبذلك يبلغ إجمالى القدرة الإنتاجية لتلك المجموعة الصغيرة من الدول المصدرة للنفط نحو ٧٠ مليون ب/ى وهو ما يمثل نحو ٦٠٪ من القدرة الإنتاجية العالمية خلال الفترة من ٢٠٢٠ - ٢٠٣٠ .

وما تجدر ملاحظته فى الجدول التالى، الذى حسبت بياناته من تقديرات (EIA) المنشورة فى يونيو ٢٠٠٦ ، أن نصيب أوبك من الإنتاج العالمى للنفط سوف يرتفع من ٤٠٪ إلى ٤٩٪ فى الفترة من ٢٠٠٣ إلى ٢٠٢٠ ، ولكنه يعود لينخفض إلى ٤١٪ بحلول عام ٢٠٣٠ . وهنا تعترف (EIA) باحتمال تقلص دور أوبك كمنتج مكمل بعد عام ٢٠٢٠ ، ولكنها تغالى فى التفاؤل بالنسبة للقدرة الإنتاجية للدول المنتجة غير الأعضاء فى أوبك.

**جدول (٢/٥) : نمو القدرة الإنتاجية للنفط فى أهم مناطق العالم**
**الوحدة = مليون برميل فى اليوم**

| الدولة أو المنطقة | ١٩٩٠ | ٢٠٠٣ | ٢٠٢٠ | ٢٠٣٠ | ٢٠٣٠٪ |
|---|---|---|---|---|---|
| ١ | ٢ | ٣ | ٤ | ٥ | ٦ |
| السعودية | ٨,٦ | ١,٦ | ١٤,٥ | ١٧,١ | ١٣,٩ |
| العراق | ٢,٢ | ٢,٣ | ٤,٣ | ٥,٦ | ٤,٥ |
| الإمارات | ٢,٥ | ٣,٣ | ٣,٩ | ٤,٦ | ٣,٧ |
| الكويت | ١,٧ | ٢,٤ | ٣,٨ | ٤,٥ | ٣,٦ |
| إيران | ٣,٢ | ٤,٢ | ٣,٩ | ٤,٣ | ٣,٥ |

| ١ | ٢ | ٣ | ٤ | ٥ | ٦ |
|---|---|---|---|---|---|
| إجمالى دول الخليج | ٢١,٥ | ٢٦,٧ | ٤٣,٩ | ٤٠,٥ | ٣٢,٨ |
| قطر | ٠,٥ | ٠,٩ | ٩,٧ | ٠,٨ | ٠,٦ |
| ليبيا | ١,٥ | ١,٥ | ١,٩ | ١,٨ | ١,٥ |
| الجزائر | ١,٣ | ١,٥ | ١,٩ | ١,٨ | ١,٥ |
| إجمالى الدول العربية المهمة + إيران | ٢١,٥ | ٢٦,٧ | ٤٣,٩ | ٤٠,٥ | ٣٢,٨ |
| فنزويلا | ٢,٤ | ٣,٠٠ | ٥,٠٠ | ٥,٩ | ٤,٨ |
| نيجيريا | ١,٨ | ٢,٠٠ | ٢,٧ | ٣,٢ | ٢,٦ |
| أندونيسيا | ١,٥ | ١,٤ | ١,٣ | ١,١ | ٠,٩ |
| إجمالى الأويك | ٢٧,٢ | ٣٣,١ | ٥٢,٩ | ٥٠,٧ | ٤١,١ |
| نصيب أويك من إنتاج العالم ٪ | ٣٩,١ | ٤٠,٢ | ٤٩,٢ | ٤١,١ | - |
| روسيا (منطقة تصدير) | ١١,٧ | ٨,٥ | ١٠,٩ | ١١,٦ | ٩,٤ |
| دول بحر قزوين (منطقة تصدير) | -- | ١,٩ | ٥,٢ | ٧,٥ | ٥٦,٦ |
| إجمال الإنتاج فى أهم مناطق التصدير | ٣٨,٩ | ٤٣,٥ | ٦٩,٠٠ | ٦٩,٨ | ٥٦,٦ |
| نصيب مناطق التصدير من العالم ٪ | ٥٦ | ٥٢,٩ | ٦٤,١ | ٥٦,٦ | - |
| الولايات المتحدة | ٩,٧ | ٨,٨ | ١٠,٤ | ١٠,٤ | ٨,٤ |
| بحر الشمال | ٤,٠٠ | ٦,٣ | ٥,١ | ٤,٣ | ٣,٥ |
| باقى العالم | ١٦,٩ | ٢٣,٧ | ٢٣,١ | ٣٨,٨ | ٣١,٥ |
| إجمالى العالم | ٩٦,٥ | ٨٢,٣ | ١٠٧,٦ | ١٢,٣ | ١٠٠ |

أهم الدول العربية غير الأعضاء فى أويك : عمان، اليمن، البحرين، مصر، سوريا، والسودان. ولكن لا يتوقع أن يلعب أى منها دورا مهما فى مجال التصدير حلال المستقبل المنظور.

تقدر التجارة العالمية فى النفط عام ٢٠٠٣ وفق (EIA) بنحو ٥٢,٨ مليون ب/ى بينما تقدرها BP (Britich Petrol) بنحو ٤٥,٨ مليون ب/ى وتقدرها أوبك بنحو ٥٦,٧ مليون ب/ى.

كذلك تقدر (EIA) صادرات أوبك فى العام المذكور بنحو ٣١,٧ مليون ب/ى، بينما تقدرها أوبك بنحو ٢٣,٢ مليون ب/ى. ويوجد نفس التفاوت فى باقى الأعوام وآخرها ٢٠٠٥ حيث تقدر BP إجمالى التجارة العالمية بنحو ٤٩,٩ ملين ب/ى، بينما تقدرها أوبك بنحو ٦٣,١ مليون ب/ى. ويعزى التفاوت لأسباب عديدة منها كمثال ازدواج قيد حركة النفط حيث استيراد النفط لتكريره ثم إعادة تصديره مرة ثانية.

وبالنسبة للمستقبل المنظور فإن الدراسات الغربية تحاول تحميل الصين وباقى الدول النامية مسئولية اختلال التوازن بين العرض والطلب على النفط، وذلك على خلفية النمو المتوقع فى نصيب الفرد من استهلاك النفط والذى يبلغ فى الوقت الحاضر نحو ٢٥ برميلا سنويا فى الولايات المتحدة، وما بين ١٠ ، ١٨ برميلا فى أوروبا، وفى الصين حوالى برميلين، والهند ٠,٩ برميل ويبلغ المتوسط العالمى ٤,٦ برميل للفرد فى العام.

**جدول (٢/٦) : التجارة العالمية فى النفط عامى ٢٠٠٣ ، ٢٠٣٠**

**(الوحدة مليون ب/ى) وفق تقديرات (EIA)**

| البيان | واردات الدول الصناعية الغربية | | | | | إجمالى الصادرات | % من الصادرات |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | شمال أمريكا | أوروبا | آسيا | الإجمالى | باقى العالم | | |
| ١ | ٢ | ٣ | ٤ | ٥ | ٦ | ٧ | ٨ |
| **٢٠٠٣** | | | | | | | |
| أوبك الخليج | ٢,٥ | ٢,٧ | ٦,١ | ١١,٣ | ١١,٢ | ٢٢,٥ | ٤٢,٦٪ |
| ليبيا والجزائر | ٠,٦ | ١,٩ | – | ٢,٦ | ٠,٤ | ٣,٠٠ | ٥,٧ |
| نيجيريا | ١,١ | ٠,٣ | ٠,٢ | ١,٦ | ٠,٤ | ١,٩ | ٣,٦ |
| فنزويلا | ١,٧ | ٠,١ | ٠,٢ | ٢,٠٠ | ١,١ | ٣,١ | ٥,٩ |
| أندونيسيا | – | – | ٠,٤ | ٠,٥ | ٠,٨ | ١,٢ | ٢,٣ |
| جملة أوبك | ٥,٩ | ٥,١ | ٦,٩ | ١٧,٩ | ١٣,٨ | ٣١,٧ | ٦٠,٠٠ |

خارج أوبك

| ١ | ٢ | ٣ | ٤ | ٥ | ٦ | ٧ | ٨ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| روسيا وبحر قزوين | ٠,٤ | ٢,٩ | ٠,٢ | ٣,٥ | ٢,٤ | ٥,٨ | ١١,٠٠ |
| مصادر أخرى | ٧,١ | ٢,٨ | ١,٠ | ١١,٠٠ | ٤,٣ | ١٥,٣ | ٢٩,٠٠ |
| إجمالى الواردات | ١٣,٥ | ١٠,٨ | ٨,١ | ٣٢,٤ | ٢٠,٤ | ٥٢,٨ | ١٠٠ |

٢٠٣٠

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| أوبك: الخليج العربى | ٣,٥ | ٣,٣ | ٥,٨ | ١٢,٦ | ٢١,٦ | ٣٤,٣ | ٤٤,٤ |
| ليبيا والجزائر | ٠,٦ | ١,٩ | ٠,٢ | ٢,٦ | ١,٥ | ٤,١ | ٥,٢ |
| نيجيريا | ١,١ | ٠,٧ | ٠,٤ | ٢,٢ | ١,٨ | ٤,٠٠ | ٥,٢ |
| فنزويلا | ٢,٣ | ٠,٣ | ٠,٥ | ٣,٠٠ | ١,٤ | ٤,٤ | ٥,٧ |
| أندونيسيا | ٠,١ | ٠,١ | ٠,٥ | ٠,٧ | ١,٠٠ | ١,٧ | ٢,٢ |
| إجمالى الأوبك | ٧,٥ | ٦,٣ | ٧,٣ | ٢١,١ | ٢٧,٤ | ٤٨,٥ | ٦٢,٧ |

خارج أوبك

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| روسيا وبحر قزوين | ٠,٥ | ٢,٤ | ٠,٨ | ٣,٦ | ٢,٩ | ٦,٦ | ٨,٥ |
| مصادر أخرى | ١١,٤ | ٢,٨ | ١,١ | ١٥,٣ | ٧,٠٠ | ٢٢,٢ | ٢٨,٧ |
| إجمالى الواردات | ١٩,٤ | ١١,٥ | ٩,٢ | ٤٠,١ | ٣٧,٣ | ٧٧,٣ | ١٠٠ |

## ٩ - الحضارة ومأزق الوقود الحفرى :

إن كل شيء من مظاهر الحضارة الحديثة التى نعيشها الآن هو نتيجة مباشرة لوفرة الإمدادات بالوقود الحفرى بأسعار زهيدة. فالوقود الحفرى هو الذى ساعدنا على الطيران والذهاب إلى حيث نشاء وبالسرعة المطلوبة، وكذلك نقل الأشياء من مكان إلى آخر وبسهولة. لقد انقذنا الوقود الحفرى من ظلام الليل الدامس، ولقد جعل نظام البناء الفرعونى مثل ناطحات السحاب شيئا عاديا فى أماكن كثيرة من العالم. لقد ساعدنا على إنتاج كميات كبيرة من الغذاء وتطوير الصناعات المتنوعة والإبداع والاتصالات إلى أقصى ما وصل إليه العلم الحديث.

كل العجائب والمعجزات التى شاهدناها فى القرن العشرين كانت بسبب وفرة الوقود الحفرى بأسعاره الزهيدة. حتى أن التقنية التطبيقية للانشطار النووى والتى ظهرت فى منتصف القرن العشرين كان لا يمكن الوصول إليها بدون الوقود الحفرى، حيث يمكن القول أن استمرارها يستحيل مستقبلا بدون الوقود الحفرى.

إن عصر الوقود الحفرى قد قارب على الانتهاء، ولا يوجد بديل له متاح حاليا. هذه الحقيقة إدراكها ضعيف بواسطة معظم سكان العالم المشغولين بحياتهم اليومية، حتى بواسطة الطبقة المثقفة والعاملين فى هذا المجال. كذلك فإنه من المهم تفهم ما الذى يمكن أن يحدث، حيث سيكون ارتدادا لطريقة حياتنا الآن، وإلى أين سيتحرك ركب الحضارة بأمان.

**١ - الذروة العالمية : (Global Peak)**

إن تفهم ما سوف يحدث يكمن فى مفهوم ذروة الإنتاج للبترول على مستوى العالم، وهى النقطة التى عندها تم سحب واستغلال نصف كل زيت البترول الموجود على المستوى العالمى. وهذا هو النصف الذى كان من السهل الحصول عليه هندسيا واقتصاديا، وكذلك النصف ذو النوعية العالية والأسهل فى عمليات التكرير. الزيت المتبقى هو الموجود فى أماكن الوصول إليها بمشقة مثل تلك التى تحت البحار فى الأعماق. كثير من النصف المتبقى يواجه صعوبة فى استخراجه حيث يحتاج إلى طاقة كبيرة والتى قد تصل إلى استهلاك برميل من الزيت لإنتاج برميل من الزيت وقد تصل الطاقة اللازمة لأكثر من ذلك. هذا بالإضافة إلى أن النصف المتبقى يكون فى شكل الخام ذى المحتوى العالى من الكبريت والذى توجد صعوبة فى تكريره، أو يحتوى على رمال القار (Tar Sands) أو طفل الزيت (Oil Shale) والذى يكون فى الحالة الصلبة وليست السائلة والذى يلزم استخراجه قبل تسييله للتكرير بما يضيف تكاليف لاستعادة الزيت؛ لذلك ، وإلى حد ما فإن جزءا من النصف المتبقى من إمدادات الزيت على مستوى العالم سوف لا يتم استعادته.

للمضى إلى ما بعد ذروة إنتاج زيت البترول يعنى أن كل الأمم على سطح الأرض سوف لا تنتج زيت بترول من الأرض أكثر من ما تم إنتاجه عند الذروة، مهما كان الطلب عليه. هذا الوضع له انعكاسات غير عادية على الحضارة الصناعية المبنية على زيت البترول والتى حققت التوسع والانتشار المنتظم لكل شيء: السكان، المنتجات، المبيعات ... إلخ. ذروة الإنتاج العالمى للبترول تمثل تحديا اقتصاديا غير

مسبوق والذى سوف يهدد الاقتصاد العالمى، ويسقط حكومات ويغير الحدود الدولية، ويثير العداءات العسكرية، ويشكل تحديا لاستمرار الحياة والحضارة. عند الذروة فإن السباق العالمى سوف يفرز مجموعة سكانية لا تستطيع العيش على أقل من كمية الزيت المنتجة عند الذروة.

تفيد المعلومات بأن نقطة الذروة لإنتاج الزيت هى فى الأعوام من ٢٠٠٠ إلى ٢٠٠٨ . وهذا التقدير مقبول لعدة أسباب. أحد هذه الأسباب هو أن الاحتياطيات أعلنت بتقديرات مبالغ فيها إما لمصلحة حصة الشريك أو لاكتساب مزايا فى حصة التصدير إلى الأسواق العالمية، كما فى حالة أعضاء منظمة أوبك. والسبب الآخر هو أن ذروة الإنتاج سوف تبدو بوضوح فى سنين كثيرة من عدم استقرار السوق العالمى، التقلبات المتكررة لصدمات الأسعار، عدم استقرار السوق. أثناء فترة الانحسار هذه فإن التسويق يمكن أن يبنى على استراتيجيات الحصة للمحافظة على توفير الإمداد لأفضل العملاء؛ وذلك على حساب الدول النامية والتى قد تصبح الدول التى لا تنمو. عندئذ فإنه يبدأ وببطء وبمعدل متسارع أن إنتاج البترول على مستوى العالم سوف ينخفض، وسوف تحدث زيادة فى عدم الاستقرار لأسواق واقتصاديات العالم مع ضراوة التغيرات عن معايير ما قبل الذروة، وسوف ندخل عصراً جديداً من القسوة والتقشف الذى لا يمكن تصوره.

ولكن رغم قرب هذا الوضع مع اللامبالاة من جانب المثقفين وخاصة فى الدول الحرة حيث حرية تداول المعلومات. وقد قال (Erik Davis) : إن هذه هى الغشاوه. معظم الناس يظنون أن البترول متاح بوفرة وبلا حدود، حيث يوجد فى العالم حقول لم تكتشف بعد وأن التقنيات الجديدة للاستكشاف والحفر والإنتاج سوف تحقق المعجزات فى إطالة عمرالحقول الموجودة واكتشاف حقول جديدة. العاملون فى مجال البترول يدركون الحقيقة ولكنهم يعرفون أن الأنباء غير السارة سوف تنعكس على الأنشطة التنموية، ونظرا لعدم وجود بديل جاهز للبترول فإنهم قرروا توهين الأنباء حول ذروة هذا الزيت على مستوى العالم، ذلك رغم أن بترول بحر الشمال قد قارب على النضوب (ما بين إنجلترا والنرويج).

**زيت البترول هبة لا تتكرر .**

إن زيت البترول هو الهبة الطبيعية الذى سمح للإنسان بالانتشار على كوكب الأرض من مليار نسمة إلى ٦ مليار نسمة ونصف بعد قرنين من الزمان فى وجود

الوقود الحفرى. مع عدم وجود الوقود الحفرى فى وجود هذا الانفجار السكانى فإن المشكلة ستكون كبيرة. إن فترة استغلال الوقود الأحفورى سوف تكون من الفترات الفريدة والشاذة فى تاريخ البشرية. فقد استمرت لمدة طويلة. الآن يصعب تصور الحياة بدونه - أو التفكير خلال نظام اجتماعى واقتصادى مختلف؛ لذلك فإننا غير معدين لما سوف يأتى.

لقد كان زيت البترول والغاز الطبيعى ذا قيمة شرائية منخفضة خلال القرن العشرين حتى أن الطبقات الاجتماعية المتدنية استفادت منه حيث أضيئت المنازل واستخدمت السيارات فى السفر بدلا من الدواب واستخدمت الأجهزة الكهربية المنزلية، وقد ساعد زيت البترول الدول الصناعية على الإبحار بأساطيلها وطائراتها للعدوان على دول الشرق النامية التى وفرت لهم هذا الوقود.

زيت البترول مادة محيرة، فهو يختزن كمية كبيرة من الطاقة لوحدة الوزن أو الحجم. ومن السهل نقله وحفظه عند درجة الحرارة العادية فى أوعية معدنية بدون ضغط حيث يمكن أن يمكث إلى ما لا نهاية بدون أن يتحلل أو يتلف. يمكن ضخه خلال المواسير ونقله إلى أى مكان فى العالم فى السفن، وكذلك يمكن نقله بواسطة القطارات والحافلات وكذلك نقله فى طائرات التموين بالوقود أثناء الطيران.

زيت البترول قابل للاشتعال ولكن ثبتت سلامة تداوله مع قليل من الحذر. يمكن تكريره بالتقطير المباشر إلى أنواع كثيرة من المشتقات البترولية (الجازولين، الديزل، الكيروسين، وقود الطائرات، زيوت التشحيم) وكذلك استخدام منتجات التقطير فى تصنيع العديد من المنتجات المفيدة مثل البلاستيك، البويات، المستحضرات الدوائية، خيوط المنسوجات الصناعية، المزلقات ... إلخ.

حقيقة لا شىء يضاهى أو ينافس زيت البترول كمصدر للطاقة، والقدرة على التداول والانتقال وسهولة الحفظ والتخزين وتعدد الاستعمالات. كل هذه الأشياء بالإضافة إلى انخفاض سعره وفوائده العديدة وسهولة الحصول عليه - جعلنا نستخدمه كما لو كان ليس هناك غد سينضب منه هذا الوقود.

# الفصل الثالث

# الغاز الطبيعي : (NATURAL GAS)

## ١ - الخصائص :

يتميز الغاز الطبيعي بسرعة الاشتعال والنظافة وضآلة ما يساهم به في تلويث البيئة؛ ولذلك يعتبر وقودا مثاليا من الناحية البيئية وخاصة في الاستعمالات المنزلية. يكاد الغاز الطبيعي أن يخلو تماما من مركبات الكبريت التي تلوث زيت الوقود (المازوت)، كما تتضاءل فيه نسبة أول أكسيد النتروجين. كذلك لا يحتاج الغاز الطبيعي إلى عمليات تحويلية قبل استخدامه، مثل تحويل خام البترول إلى منتجات مكررة؛ وفي ذلك حماية للبيئة من التلوث المرتبط بعمليات تكرير زيت البترول. كذلك تساعد الطبيعة الغازية للغاز الطبيعي على الاتحاد بالهواء عند الاشتعال بحيث لا يتخلف عنه من الملوثات مثل ما يتخلف نتيجة لعدم اكتمال دورة الاحتراق في غيره من مصادر الوقود الحفري (أول أكسيد الكربون وغيره) . وهكذا يتمتع الغاز بمميزات عديدة على سائر مصادر الطاقة الحفرية بما يجعله يحظى بمساندة أنصار حماية البيئة.

الغاز الطبيعي هو خليط من غازات الهيدروكربون (Hydrocarbon) القابلة للاحتراق. بينما المكون الأولي للغاز الطبيعي هو غاز الميثان، إلا أنه يمكن أن يشمل الإيثين، البروبين، البيوتين، البنتين.

مكونات الغاز الطبيعي يمكن أن تتغير كثيرا، والجدول التالي يبين المكونات النمطية للغاز الطبيعي قبل تنقيته :

جدول (٣/١) : مكونات الغاز الطبيعي قبل تنقيته :

| أنواع المواد | المكونات | النسبة المئوية |
|---|---|---|
| ١ | ٢ | ٣ |
| هيدروكربونات بارافينية (Parrafinic Hydrocarbons) | الميثان<br>الإيثان | ٧٠ – ٩٨<br>١ – ١٠ |

| ١ | ٢ | ٣ |
|---|---|---|
| | البروبين<br>البيوتين<br>البنتين<br>الهكزين<br>الهبتينات وأعلى | آثار – ٥ ٪<br>آثار – ٢ ٪<br>آثار – ١ ٪<br>آثار – ٠,٥ ٪<br>لاشىء – آثار |
| الهيدروكربونات الحلقية | سيكلوبروبين<br>سيكلوهكزين | آثار<br>آثار |
| الهيدروكربونات الأروماتية | البنزين وخلافه | آثار |
| غير الهيدروكربونات | النتروجين<br>ثانى أكسيد الكربون<br>كبريتيد الهدروجين<br>الهيليوم<br>خلافه<br>ماء | آثار – ١,٥ ٪<br>آثار – ١ ٪<br>آثار<br>آثار – ٥ ٪<br>آثار<br>آثار – ٥ ٪ |

فى أحسن حالات النقاء يكون الغاز الطبيعى دائما هو غاز الميثان النقى.

**الجدول (٣/٢) : يبين بعض الخواص الطبيعية للمكونات الرئيسية للغاز الطبيعى.**

| الاسم | الرمز الكيميائى | درجة حرارة الانصهار °م | درجة حرارة الغليان °م | الحالة عند ٢٥°م |
|---|---|---|---|---|
| الميثان | $CH_4$ | – ١٨٢,٥°م | – ١٦٤°م | غاز |
| الإيثان | $C_2H_6$ | – ١٨٣,٣°م | – ٨٨,٦°م | غاز |
| البروبين | $C_3H_8$ | – ١٨٩,٧ م | – ٤٢,١°م | غاز |

| الاسم | الرمز الكيميائى | درجة حرارة الانصهار °م | درجة حرارة الغليان °م | الحالة عند ٢٥°م |
|---|---|---|---|---|
| البيوتين | $C_4 H_{10}$ | - ١٣٨,٤°م | - ٠,٥ | غاز |
| البنتين | $C_5 H_{12}$ | - ١٢٩,٧°م | ٣٦,١ | سائل |
| الهكزين | $C_6 H_{14}$ | - ٩٥°م | ٦٨,٩ | سائل |
| الهبتين | $C_7 H_{16}$ | - ٩٠,٦ | ٩٨,٤ | سائل |
| الأكتين | $C_8 H_{18}$ | - ٥٦,٨ | ١٢٤,٧ | سائل |
| نونين | $C_9 H_{12}$ | ٥١ | ١٥٠,٨ | سائل |

الغاز الطبيعي له استخدامات كثيرة، فى المجالات التجارية والصناعية. يوجد الغاز الطبيعى فى خزانات تحت سطح الأرض، عادة يكون الغاز الطبيعى مصاحبا برواسب من الزيت. توجد حقول الغاز الطبيعي على أعماق تصل إلى ١٥٠٠٠ قدم من سطح الأرض. شركات الإنتاج تبحث عن دليل لخزانات الغاز الجوفية هذه باستخدام تقنيات متقدمة التى تساعد فى استكشاف أماكن الغاز الطبيعى، وتقوم بحفر الآبار الاختبارية لمعرفة احتمال وجود الغازات. بعد حفر آبار إنتاج الغاز وبمجرد خروج الغاز من باطن الأرض فإنه يتم تنقيته لإزالة الملوثات مثل الماء، والغازات الأخرى مثل ثانى أكسيد الكربون، كبريتيد الهدروجين، الرمال، المركبات الأخرى .

بعض الهدروكربونات يتم فصلها وبيعها كل على حدة ومنها الإيثين، البروبين، البيوتين. مخلفات أخرى يتم إزالتها كذلك مثل كبريتيد الهدروجين، وثانى أكسيد الكربون. بعد التنقية يتم نقل الغاز الطبيعى النظيف خلال شبكة مواسير، حيث مواقع الاستخدام.

الغاز الطبيعى يمكن قياسه بعدة طرق، حيث يمكن قياسه بالحجم الذى يشغله عند درجة الحرارة والضغط العادى، الذى يعبر عنه عادة بالقدم المكعب أو بالمتر المكعب. شركات الإنتاج والتوزيع عادة تقيس الغاز الطبيعى بالآلاف من القدم المكعب (MCF) أو بالملايين من القدم المكعب (MMCF) أو بالتريليون قدم مكعب (TCF) (التريليون = ١ × $10^{12}$ ) . كذلك فإن الغاز الطبيعى يمكن قياسه كمصدر

للطاقة مثل باقى الوحدات الحرارية البريطانية (Btu). القيمة الحرارية (Heating Value) للغاز الطبيعى هى حوالى ١٠٢٧ وحدة حرارية بريطانية (1027 Btu) لكل قدم مكعب من الغاز الطبيعى.

**٢ - تصنيع الغاز الطبيعى : (Processing of Nutural Gas)**

الغاز الطبيعى المستخدم بواسطة المستهلك يختلف كثيراً عن الغاز الطبيعى الذى يتم إنتاجه من باطن الأرض حتى رأس البئر. رغم أن تصنيع الغاز الطبيعى فى كثير من الاعتبارات أقل تعقيداً عن تصنيع وتكرير الزيت الخام، إلا أنه من الأهمية قبل الاستخدام بواسطة المستهلك. يتكون الغاز الطبيعى الذى يستخدمه المستهلك فى معظمه من غاز الميثان، إلا أن الغاز الطبيعى الخام يأتى من ثلاثة أنواع من الآبار وهى :

آبار زيت البترول، آبار الغاز، آبار المتكثفات (Condensates). الغاز الطبيعى الذى يأتى من آبار الزيت يسمى الغاز المصاحب. هذا الغاز يمكن أن يوجد منفصلاً عن الزيت فى التكوينات الأرضية (الغاز الحر) أو مذاباً فى الزيت الخام (الغاز المذاب).

الغاز الطبيعى من آبار الغاز والمتكثفات حيث يوجد القليل من خام الزيت أو لا يوجد يسمى الغاز غير المصاحب (Nonassociated). آبار الغاز تنتج الغاز الطبيعى الخام بينما آبار المتكثفات تنتج الغاز الطبيعى الحر بالإضافة إلى متكثفات الهدروكربون الشبيه سائلة (Semi-liquid Condensate). مهما كان مصدر الغاز الطبيعى يحتوى على بخار الماء، كبريتيد الهدروجين ($H_2S$)، $CO_2$، الهيليوم، النتروجين، ومركبات أخرى.

فى الواقع، الهدروكربونات المصاحبة المعروفة بسوائل الغاز الطبيعى (Natural Gas Liquids) (NGL'S) يمكن أن تكون منتجا ثانويا ذا قيمة فى تصنيع الغاز الطبيعى. سوائل الغاز الطبيعى الإيثين، البروبين، البيوتين، الأيزوبيوتين، الجازولين الطبيعى. سوائل الغاز الطبيعى تباع منفصلة ولها العديد من مختلف الاستخدامات، بما فيها استعادة الزيت من آبار الزيت، توفير المواد الخام لمعامل تكرير البترول، أو لمصانع البتروكيماويات وكمصدر للطاقة.

بينما أن بعض العمليات المطلوبة يمكن تنفيذها عند أو قريبا من رأس البئر (عمليات حقلية)، إلا أن التصنيع الكامل للغاز الطبيعى يحدث فى مصنع عادة قريبا من منطقة إنتاج الغاز. الغاز الطبيعى المستخرج يتم نقله إلى وحدات التصنيع هذه خلال شبكة من خطوط مواسير التجميع ذات القطر الصغير، وكذلك ذات الضغط المنخفض. نظام التجميع المجمع يمكن أن يتكون من خطوط المواسير بآلاف الأميال، متصلين بمصنع التجهيز وبحوالى ١٠٠ بئر فى المنطقة. بالإضافة إلى العمليات التى تتم عند رأس البئر، عند المصانع المركزية، فإن بعض العمليات الصناعية النهائية تتم أحيانا عند مصانع الاستخلاص المنتشرة.

## أ – الفصل الحقلى (ازالة الزيت والمتكثفات) :

السوائل التى تتدفق من آبار الزيت والغاز عادة تشمل الغاز، واحد أو أكثر من المجالات السائلة، وأحيانا كميات صغيرة من المجالات الصلبة. المجال السائل للهدروكربون عادة يكون مصاحبا له مياه مالحة أو مياه مكثفة. عادة يكون مطلوب فصل هذه المجالات عند رأس البئر. تطوير عملية الفصل التقليدية، تمت لزيادة استعادة المتكثفات وكذلك لإزالة الرطوبة من الغاز.

الثلاث مراحل لوحدات الفصل عند رأس البئر تشمل :

المرحلة الأولى لفصل الماء من الغاز والتى تتم بواحدة من طريقتين وهما الامتصاص أو الإدمصاص.

إذا كان المطلوب فقط إزالة الهدروكربونات الأعلى، فإن المستخدم عادة هو الفحم المنشط كمادة امتصاص.

استخدام خلايا فصل جزيئية (Molecular Seives) يمكن فصل الماء، الهدروكربونات، مركبات الكبريت وثانى أكسيد الكربون.

## ب– فصل سوائل الغاز الطبيعى (Separation of NGL'S)

الغاز الطبيعى القادم من البئر يحتوى كثيرا من سوائل الغاز الطبيعى والتى عادة يتم فصلها، تكون سوائل الغاز الطبيعى ذات قيمة عالية كمنتجات منفصلة؛ لذلك فإن فصلها عن الغاز يكون له عائد اقتصادى. وإزالة سوائل الغاز الطبيعى تحدث عادة فى وحدة تصنيع مركزية مستخدمة تقنيات تشبه لتلك المستخدمة فى إزالة الرطوبة من الغاز.

بمجرد إزالة سوائل الغاز الطبيعى من تدفقات الغاز، فإنه يتم فصلها عن بعضها البعض لإمكان الاستفادة منها. العملية المستخدمة فى هذا تسمى التقطير أو التجزىء (Fractionation). وعملية التقطير هذه مبنية على أساس اختلاف درجة حرارة الغليان لمختلف الهدروكربونات.

### جـ- إزالة الكبريت وثانى أكسيد الكربون :

بالإضافة إلى إزالة الماء والزيت وسائل الغاز الطبيعى، فإن واحدة من أهم عمليات تصنيع الغاز تشمل إزالة الغازات الحامضية (وهى غازات الكبريت وثانى أكسيد الكربون). الغاز الطبيعى من بعض الآبار يحتوى على كميات كبيرة من كبريتيد الهدروجين وثانى أكسيد الكربون. هذا الغاز يسبب الرائحة الكريهة بسبب المحتوى من الكبريت يسمى عادة الغاز الحمضى (Sour Gas). الغاز الحامضى غير مرغوب فيه نظراً لشدة خطورة مركبات الكبريت الموجودة فيه، حتى أنه مميت فى حالة الاستنشاق. كما أن الغاز الحامضى هذا يكون شديد العدوانية بالنسبة لتآكل وتلف المواد الهندسية.

يوجد الكبريت فى الغاز الطبيعى فى شكل الهدروجين ($H_2S$) وعادة يعتبر الغاز حامضيا إذا زاد المحتوى من كبريتيد الهدروجين عن ٥,٧ مليجرام فى المتر المكعب من الغاز الطبيعى. عملية إزالة كبريتيد الهدروجين من الغاز الحامضى تسمى عملية تحلية الغاز (Sweeteming). هذه العمليات تتم من خلال الامتصاص بمادة الأمين والتى تسمى (Amine Process)، أو باستخدام مواد مثل الحديد الأسفنجى الصلب (Iron Sponges) لإزالة الكبريت وثانى أكسيد الكربون.

### ٣ - استخدام الغاز الطبيعى فى الصناعة :

الغاز الطبيعى له العديد من الاستخدامات، حيث يوفر المكونات الأساسية للعديد من المنتجات مثل البلاستيك، الأسمدة، مثبطات التجمد (Anti - Freeze)، والخيوط الصناعية، الصناعات الكيميائية والدوائية ... إلخ. الصناعة هى المستخدم الأكبر للغاز الطبيعى حيث الغاز الطبيعى هو ثانى مصدر للطاقة المستخدمة فى الصناعة بعد الكهرباء.

الاستخدامات الصناعية للغاز الطبيعي كثيرة ومتعددة، فهي تشمل الاستخدام المنزلي كالتدفئة والطهي. كذلك يستخدم الغاز الطبيعي في معالجة المخلفات والحرق، المعالجة للمعادن وخاصة للحديد والصلب، التجفيف وإزالة الرطوبة، صهر الزجاج، كوقود لغلايات إنتاج البخار في الصناعة . الغازات مثل البيوتين، الإيثين يمكن استخلاصها من الغاز الطبيعي لاستخدامها كمادة خام لصناعة الأسمدة والمنتجات الدوائية.

الغاز الطبيعي هو من دعائم تصنيع الميثانول، والذي له استخدامات صناعية كثيرة.

## ٤ - نقل الغاز الطبيعي :

أ – عند نقل الغاز في خطوط المواسير، يجب مراعاة السيطرة على تكوين السوائل من الهدروكربونات في خطوط المواسير. تكثيف السائل يمكن أن يكون مشكلة كبيرة عند ضخ السائل. لمنع تكون السوائل في الشكبة، يكون من الضروري التحكم في نقطة ندى الهدروكربون لتكون تحت ظروف تشغيل خط المواسير.

ب– خطوط المواسير والغاز الطبيعي المسال :

نقل الغاز هو من الاعتبارات الهامة في تداوله، ذلك أن المصادر عادة تكون بعيدة عن أسواق الاستهلاك. ومعظم الغاز يتم نقله في خطوط مواسير وتوجد شبكة مطورة في الاتحاد السوفيتي السابق وأوروبا وأمريكا الشمالية.

ولكن في حالة الغاز يكون حجم الغاز الطبيعي ضخما. خطوط المواسير ذات الضغط العالي يمكن أن تنقل خمس كمية الطاقة في اليوم والتي يمكن أن تنقل في خطوط مواسير الزيت ولكن تسير بسرعة أعلا. عند تبريد الغاز إلى – ١٦٠°م فإنه يصبح سائلا وأكثر اندماجا حيث يشغل ١ : ٦٠٠ من الحجم الأصلي للغاز؛ لذلك فإنه عند النقل إلى مسافات بعيدة يكون الغاز في الحالة السائلة وله جدوى اقتصادية. وتلك هي الوسيلة الوحيدة لنقل الغاز عبر البحار.

الحاجة إلى نقل الغاز لمسافات طويلة عبر البحار والمحيطات أدى إلى تطوير تجارة الغاز الطبيعي المسال. كانت أول شحنة بحرية على أساس التجربة في أول الستينيات من القرن الماضي ما بين الولايات المتحدة والمملكة المتحدة، ولكن في عام

١٩٦٤ كان أول مشروع تجارى لنقل الغاز من الجزائر إلى المملكة المتحدة. منذ ذلك الحين، أصبحت تجارة الغاز الطبيعى المسال تنمو بانتظام وكونت نسبة زائدة من التجارة العالمية.

الجدول الآتى هو نتيجة لتجارة الغاز الطبيعى المسال فى مقابل نقل الغاز فى خطوط المواسير خلال الـ ٣٠ عاما الماضية. تجارة الغاز الطبيعى المسال وفرت مرونة أكثر.

| العام | ١٩٧٠ | ١٩٧٥ | ١٩٨٠ | ١٩٨٥ | ١٩٩٠ | ٢٠٠٠ | ٢٠٠١ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| الغاز الطبيعى المسال | ٢,٦٩ | ١٣,٠٥ | ٣١,٣٤ | ٥٠,٨٨ | ٧٢,١٤ | ١٣٧,٢ | ١٤٣ |
| خط المواسير | ٤٢,٩٣ | ١١٢,٣٢ | ١٦٩,٦٤ | ١٧٧,٩٧ | ٢٣٥,٢٩ | ٥١٩,٥ | ٥٣٦,٧ |
| | الوحدة $١٠^{٩}$ متر مكعب | | | | | | |

من وجهة النظر الاقتصادية فإن المسافة هى العامل الرئيسى الذى يحدد طريقة نقل الغاز الطبيعى سواء باستخدام خطوط المواسير أو باستخدام الغاز الطبيعى المسال. النقطة التى بعدها يتم استخدام الغاز الطبيعى المسال هى حوالى ٨٠٠٠ كيلومتر، أو فى حالة الطرق الصعبة تكون ٢٦٠٠ كيلومتر؛ لذلك فإنه بالنسبة للنقل البحرى فإنه يوفر للدول ميزة استراتيجية نحو الاعتماد على خطوط المواسير التى يمكن أن تقام على مختلف الأراضى لمختلف الدول (كمثال خط مواسير الغاز الطبيعى من روسيا الاتحادية إلى البرتغال، حيث يمر خلال ما لا يقل عن ٦ دول).

* ومن بين خصائص الغاز الطبيعى هو تفوقه من حيث الكفاءة على كل من الفحم والزيت فى استعمالات مثل توليد الكهرباء، إذ يستعمل كوقود فى الدورة المركبة (Combined Sycle) التى يمكن باستخدامها رفع كفاءة التوليد بما يزيد على ثلث الكفاءة العادية لتوليد الكهرباء؛ لذلك فإنه يتوقع زيادة استخدامه فى هذا المجال. كذلك تعتمد بعض صناعات البلاستيك والألياف الصناعية ومنتجات بتروكيماوية أخرى على غاز الميثان، وهو أكبر مكون للغاز الطبيعى. وفى السنين الأخيرة استخدم الغاز الطبيعى كوقود للسيارات، وبذلك أصبح استهلاك الغاز مساهما فى تحسين الظروف البيئية.

* يستخرج الغاز من حقول الغاز سواء كان مصاحبا للزيت أو غير مصاحب، ثم تتم معالجته من الملوثات واستخلاص ما يمكن استخلاصه من سوائل الغاز الطبيعى التى يتم ضمها إلى غيرها من الوسائل. وفى الحالات التى يزيد فيها الغاز المصاحب لإنتاج الزيت عن الاحتياجات المحلية، فإنه يعاد ضخ الفائض فى الحقول للمحافظة على الضغط فيها، وفى حالة وجود فائض فإنه يتم تسييله ونقله بحرا فى ناقلات إلى الأسواق الخارجية.

**٥ - الإنتاج والاحتياطى العالمى للغاز:**

يمكن اعتبار الولايات المتحدة أنها المهد الذى حبت ونمت فيه صناعة الغاز الطبيعى وخطت فيها اقتصاديا الصناعة أولى خطواتها. ومن هنا أخذت أوروبا وباقى الدول التى أقبلت على استخدام الغاز فى ترسم الخطى الأمريكية فى هذا المجال.

ومع أن استهلاك العالم من الطاقة قد ارتفع خلال الفترة من ١٩٦٥ – ١٩٩٩ من نحو ٤١٢١ مليون طن زيت مكافئ (Toe) إلى نحو ٩٦٢٣ مليون طن زيت مكافئ بمعدل زيادة ٢,٥ ٪ سنويا فى المتوسط، إلا أن استهلاك الغاز الطبيعى كان أسرع نموا حيث قفز خلال الفترة من عام ١٩٦٥ – ٢٠٠٠ من نحو ٦٤٧ مليون طن زيت مكافئ إلى نحو ٢١٦٤ مليون طن زيت مكافئ (٢٤٠٥ مليار متر مكعب BCM) وبمعدل زيادة ٣,٤ ٪ سنويا فى المتوسط.

وقد ترتب على تلك القفزة فى استهلاك الغاز الطبيعى ارتفاع نصيبه من الاستهلاك العالمى للطاقة خلال الفترة ١٩٦٥ – ١٩٩٩ من نحو ١٥,٧ ٪ إلى نحو ٢٣ ٪. كما يتوقع أن يستمر هذا الارتفاع خلال المستقبل المنظور. على حين يتركز الجانب الأكبر من احتياطيات الزيت فى دول لا تستهلك من إنتاجها سوى نسبة ضئيلة وتقوم بتصدير الباقى (مثل دول الأوبك) فإن الجانب الأكبر من احتياطيات الغاز يقع فى المناطق الصناعية المستهلكة له. وأغلب احتياطيات الغاز تكون فى حقول لا تحتوى على نسبة كبيرة من السوائل، حيث تصبح سياسات إنتاج الغاز مستقلة عن سياسات إنتاج الزيت.

أما فى حالة وجود الغاز مقترنا بالزيت (الغاز المصاحب)، حيث ظل جانب كبير من الغاز المصاحب يتم حرقه فى الجو لعشرات السنين، وذلك بدلا من ضخه فى الحقول حفاظا على الضغط فيها. وقد قدرت الكميات التى تم تبديدها على هذا النحو

فى دول الأوبك عام ١٩٧٧ بنحو ١٤٠ مليار متر مكعب، وهو ما يعادل ٢,٥ مليون برميل من الزيت يوميا طوال عام ١٩٧٧ .

الجدول الآتى يبين احتياطى وإنتاج الغاز فى الشرق الأوسط وشمال أفريقيا:

**٦ - جدول (٣/٣) : احتياطى وإنتاج الغاز فى الشرق الأوسط وشمال أفريقيا**

| الدولة | الاحتياطى تريليون متر مكعب | النسبة لاحتياطى العالم | الإنتاج ٢٠٠٠ نسبة إلى العالم |
|---|---|---|---|
| البحرين | ٠,٠٩ | ٠,١ | ٠,٤ |
| إيران | ٢٣,٠٠ | ١٤,٦ | ٢,٦٥ |
| العراق | ٣,١١ | ١,٩٨ | ٢,٠٠ |
| الكويت | ١,٤٩ | ١,٠٠ | ٠,٦ |
| عمان | ٠,٨٢ | ٠,٥ | ٠,٤ |
| قطر | ١٤,٤ | ٩,٢ | ١,٢ |
| السعودية | ٦,٣٦ | ٤,١ | ٢,٢ |
| سوريا | ٠,٢٤ | ٠,٢ | ٠,٢ |
| الإمارات | ٦,٠١ | ٣,٩ | ١,٨ |
| اليمن | ٠,٤٨ | ٠,٣ | — |
| خلافه | ٠,٠٥ | — | ٠,١ |
| إجمالى الشرق الأوسط | ٥٦,٠٦ | ٣٦,٠٠ | ٩,٣ |
| الجزائر | ٤,٥٢ | ٢,٩ | ٣,٢ |
| الولايات المتحدة | ٥,١٩ | ٣,٣ | ٢١,٧ |
| شرق أوروبا | ٣,١٤ | ٢,٠٠ | ٨,٣ |
| آسيا باسيفيك | — | — | ١١,٩ |
| إجمالى العالم | ١٥٥,٧٨ | ١٠٠ | ١٠٠ |

للتحويل من أحجام إلى أوزان فى LNG معامل التحويل التقريبى المستخدم فى إحصاءات BP :

مليار قدم مكعب غاز × ٠,٠٢١ = مليون طن LNG (غاز طبيعى مسال)

مليار متر مكعب غاز × ٠,٠٧٣ = مليون طن LNG (غاز طبيعى مسال)

### ٧ - جدول (٣/٤) : احتياطيات العالم المؤكدة من الغاز طبقا لعام ٢٠٠٢

| مسلسل | الدولة | تريليون قدم مكعب فى عام ٢٠٠٢ | النسبة فى العالم فى ٢٠٠٢ |
|---|---|---|---|
| ١ | ٢ | ٣ | ٤ |
| ١ | البحرين | ٠,٠٩ | ٠,١٪ |
| ٢ | سوريا | ٠,٢٤ | ٠,٢٪ |
| ٣ | اليمن | ٠,٤٨ | ٠,٣٪ |
| ٤ | الهند | ٠,٧٦ | ٠,٥٪ |
| ٥ | عمان | ٠,٨٣ | ٠,٥٪ |
| ٦ | ليبيا | ١,٣١ | ٠,٨٪ |
| ٧ | الصين | ١,٣٧ | ١٪ |
| ٨ | الكويت | ١,٤٩ | ١٪ |
| ٩ | مصر | ١,٦٦ | ١,١٪ |
| ١٠ | كندا | ١,٧ | ١,١٪ |
| ١١ | هولندا | ١,٧٦ | ١,١٪ |
| ١٢ | كازاخستان | ١,٨٤ | ١,٢٪ |
| ١٣ | أوزبكستان | ١,٨٧ | ١,٢٪ |
| ١٤ | تركنستان | ٢,٠١ | ١,٣٪ |
| ١٥ | ماليزيا | ٢,١ | ١,٤٪ |
| ١٦ | النرويج | ٢,١٩ | ١,٤٪ |
| ١٧ | أستراليا | ٢,٥٥ | ١,٦٪ |
| ١٨ | أندونيسيا | ٢,٦ | ١,٧٪ |
| ١٩ | العراق | ٣,١ | ٢٪ |
| ٢٠ | نيجيريا | ٣,٥ | ٢,٣٪ |
| ٢١ | فنزويلا | ٤,٢ | ٢,٧٪ |
| ٢٢ | الجزائر | ٤,٥ | ٢,٩٪ |
| ٢٣ | الولايات المتحدة | ٥,١٩ | ٣,٣٪ |

| ١ | ٢ | ٣ | ٤ |
|---|---|---|---|
| ٢٤ | الإمارات | ٦,٠٠ | ٣,٩٪ |
| ٢٥ | السعودية | ٦,٤ | ٤,١٪ |
| ٢٦ | جنوب ووسط أمريكا | ٧,١ | ٤,٦٪ |
| ٢٧ | أمريكا الشمالية | ٧,٢ | ٤,٦٪ |
| ٢٨ | آسيا باسيفيك | ١٢,٦ | ٨,١٪ |
| ٢٩ | قطر | ١٤,٤ | ٩,٢٪ |
| ٣٠ | أفريقيا | ١١,٨ | ٧,٦٪ |
| ٣١ | إيران | ٢٣ | ١٤,٨٪ |
| ٣٢ | روسيا | ٤٧,٦ | ٣٠,٥٪ |
| ٣٣ | الشرق الأوسط | ٥٦,١ | ٣٦,٠٠٪ |
| ٣٤ | أوروبا وأوراسيا | ٦١,٤ | ٥٨,٩٪ |

* يحتوى طن الزيت حراريا ما يكافئ ١١١١ متراً مكعبًا من الغاز الطبيعى، كما يحتوى برميل الزيت ما يكافئ نحو ١٥٢ مترا مكعبا من الغاز، لذلك فإن احتياطيات الغاز فى نهاية ٢٠٠١ تكافئ حراريا نحو ١٠٢٠ مليار برميل زيت أو ١٤٠ مليار طن زيت. لذلك فإن احتياطيات الغاز الطبيعى تتعادل حراريا مع احتياطيات زيت البترول التى بلغت فى نهاية ٢٠٠١ نحو ١٠٥٠ مليار برميل أو ١٤٣ مليون طن.

* تستخدم إحصاءات BP كعامل تحويل : طن زيت يعادل = ١١١١ مترا مكعبا = ٣٩,٢ ألف قدم مكعب = ٤٠,٤ مليون وحدة حرارية بريطانية = ٠,٨٠٥ طن غاز مسال (LNG).

بينما تستخدم الوكالة الدولية للطاقة (IEA) معامل التحويل :

طن زيت مكافئ Toe = ٤٢,٩ ألف قدم مكعب غاز = ١٢٧٠ مترا مكعبا غاز فى الولايات المتحدة.

## ٨ - سوق الغاز الأمريكية والأوروبية وآسيا باسيفيك

### أ - السوق الأمريكية للغاز

هـي أقـدم الأسـواق وأكثـرها خبرة وتـنوعا؛ لذلك فإن الكثيـر من أسواق الغاز الناشئة تقتدى بها. مازالت الولايات المتحدة حتى الآن تعتبر أكبر دولة مستهلكة للغاز، حيث بلغ استهلاكها عام ٢٠٠١ نحو ٦١٦ مليار متر مكعب أي ما يعادل نحو ٢٦ ٪ من الاستهلاك العالمي للغاز، كما يغطي الغاز الطبيعي حوالي ٢٥ ٪ من استهلاك الطاقة في الولايات المتحدة الأمريكية في الوقت الحاضر ويكاد إنتاجها يغطي استهلاكها ولكنها تعيد ضخ نحو ٩٣ مليار متر مكعب في حقول الزيت للحفاظ على الضغط فيها. ولذلك استوردت الولايات المتحدة في عام ٢٠٠١ نحو ١١٦ مليار متر مكعب وقامت بتصدير ١١ مليار متر مكعب، وبذلك بلغ صافي وارداتها ١٠٥ مليار متر مكعب ساهمت فيها كندا بنحو ٩٣ ٪ بالنقل عبر خطوط الأنابيب.

### ب- السوق الأوروبية :

ارتفع استهلاك الغاز في أوروبا خلال الفترة من ١٩٨٥ - ٢٠٠١ من حوالي ٢١٣ مليار متر مكعب إلى حوالي ٤٧٠ مليار متر مكعب في اليوم (من حوالي ٣,٨ مليون برميل زيت مكافئ في "يوم إلى حوالي ٨,٥ مليون برميل زيت مكافئ في اليوم) بمعدل ٥,١ سنويا. وقد صاحب ذلك تنمية المصادر المحلية أولا في هولندا ثم في قطاعي النرويج والمملكة المتحدة في بحر الشمال حيث بلغ إجمالي الإنتاج الأوروبي عام ٢٠٠١ حوالي ٢٩٣ مليار متر مكعب. وتم تغطية الباقي باستيراد نحو ١٦٠ مليار متر مكعب عبر خطوط الأنابيب (١٢٧ من روسيا، ٣٢ من الجزائر) وحوالي ٣٣ مليار متر مكعب غاز مسال (٢٥ من الجزائر، ٨ من نيجيريا).

### جـ- آسيا باسيفيك :

تشمل آسيا باسيفيك الدول التالية :

أستراليا، بنجلاديش، الصين، هونج كونج، الهند، أندونيسيا، اليابان، ماليزيا، نيوزيلندا، باكستان، الفلبين، سنغافورة، كوريا الجنوبية، تايوان، تايلاند، بروناري وغيرها).

شهدت تلك المنطقة نموا متزايدا فى إنتاج واستهلاك الغاز الطبيعى، وذلك نتيجة لتوفير احتياطيات كبيرة منه ساعدت على نمو الإنتاج فى المنطقة، وخاصة فى أندونيسيا وماليزيا وأستراليا وبرونارى. كما شجع على هذا النمو وجود طلب قوى فى المنطقة نتيجة لافتقار اليابان وكوريا وتايوان وغيرها إلى مصادر الطاقة، وكذلك لزيادة القلق حول تلوث البيئة. ويستمد الغاز الطبيعى قوته من استخدامه فى توليد الكهرباء نتيجة للنمو الصناعى السريع الذى شهدته تلك المنطقة خلال العقدين الأخيرين من القرن العشرين. ويتوقع أن يرتفع استهلاك الغاز الطبيعى فى منطقة آسيا باسيفيك من نحو ٣٠٥ مليار متر مكعب فى عام ٢٠٠١ إلى نحو ٩٧٥ مليار متر مكعب فى عام ٢٠٢٠ بمعدل نمو ٦,٣ ٪ سنويا. بلغ حجم واردات الغاز إلى المنطقة عام ٢٠٠١ نحو ١٠٢ مليار متر مكعب منها ٧٤ لليابان، ٢٢ لكوريا الجنوبية، ٦ لتايوان. وتعتمد المنطقة لسد ٧٠ ٪ من تلك الواردات على الغاز الذى تنتجه وتصدره دول المنطقة، وإن كانت تلك النسبة فى انخفاض؛ وذلك لتنامى الواردات من منطقة الخليج العربى.

توزيع صادرات المنطقة بوحدات مليار متر مكعب كالآتى :

أندونيسيا ٣١,٨، ماليزيا ٢١، أستراليا ١٠,٣، برونارى ٠٩ أما باقى احتياجات المنطقة فيصلها من خارج المنطقة مقدرا بوحدات مليار متر مكعب كالآتى :

٧,١ من مشروع إسالة الغاز فى أبوظبى الذى بدأ فى عام ١٩٧٧

١٤,٩ من مشروع قطر الذى بدأ فى عام ١٩٩٧

٦,٢ من عمان وهو الأحدث فى الخليج

ثم ١,٨ من ألاسكا.

وبذلك فإن المنطقة صارت تستأثر بنحو ٧١ ٪ من التجارة الدولية فى الغاز الطبيعى المسال والتى بلغت نحو ١٤٣ مليار متر مكعب عام ٢٠٠١ (ويتجه الباقى إلى أوروبا ٣٣ وإلى الولايات المتحدة ٨) .

ومع أن الدول المستوردة للغاز المسال فى منطقة آسيا باسيفيك لا تتجاوز فى الوقت الحاضر ثلاثة (اليابان، كوريا الجنوبية، تايوان) إلا أن المستقبل المنظور يرشح- الصين والهند وباكستان وتايلاند والفلبين لدخول مجال الاستيراد. وإذ تعتبر تلك

المنطقة السوق الطبيعية لصادرات الشرق الأوسط من الغاز المسال، فإن المجال سوف يتسع لصادرات أبوظبى، وقطر وعمان واليمن وإيران كى تغطى العجز فى المنطقة والذى يتوقع أن يبلغ نحو ٩٠ مليار متر مكعب (٦٦ مليون طن غاز طبيعى مسال بحلول عام ٢٠١٠).

**٩ - يوضح الجدول (٣/٥) ؛ الآتى أهم الدول المصدرة والمستوردة للغاز الطبيعى** عام ٢٠٠١ حيث ينفزد بنحو ٨٣٪ من الصادرات ٨ دول هى :

الاتحاد السوفيتى (سابقا)، وكندا وهولندا والجزائر والنرويج وأندونيسيا وماليزيا وقطر، بينما ٩٠٪ من الواردات فى ٩ دول أهمها الولايات المتحدة، ألمانيا، اليابان، إيطاليا، فرنسا.

**جدول (٣/٥) : أهم الدول المصدرة والمستوردة للغاز الطبيعى خلال ٢٠٠١**

**الوحدة = مليار متر مكعب**

| الدول المصدرة | الصادرات | | الدول المستوردة | الواردات | |
|---|---|---|---|---|---|
| | كمية | ٪ | | كمية | ٪ |
| الاتحاد السوفيتى (سابقا) | ١٢٧ | ٢٢,٩ | الولايات المتحدة | ١٠٥ | ١٩ |
| كندا | ١٠٩ | ١٩,٧ | المانيا | ٧٩ | ١٤,٣ |
| الجزائر | ٥٨ | ١٠,٥ | اليابان | ٧٤ | ١٣,٤ |
| النرويج | ٥١ | ٩,٢ | إيطاليا | ٥٥ | ٩,٩ |
| هولندا | ٤٢ | ٧,٦ | فرنسا | ٤١ | ٧,٤ |
| أندونيسيا | ٣٢ | ٥,٨ | كوريا الجنوبية | ٢٢ | ٤,٠٠ |
| ماليزيا | ٢٢ | ٤,٢ | تشيك + سلوفاكيا | ١٧ | ٣,١ |
| قطر | ١٧ | ٣,١ | بلجيكا | ١٦ | ٢,٩ |
| المملكة المتحدة | ١٦ | ٢,٩ | أسبانيا | ١٨ | ٣,٢ |
| أستراليا | ١٠ | ١,٨ | تركيا | ١٦ | ٢,٩ |
| برونى | ٩ | ١,٦ | المجر | ١٠ | ١,٨ |
| ابوظبى | ٧ | ١,٣ | بولندا | ٨ | ١,٤ |

| الدول المصدرة | الصادرات كمية | الصادرات ٪ | الدول المستوردة | الواردات كمية | الواردات ٪ |
|---|---|---|---|---|---|
| نيجيريا | ٨ | ١,٤ | النمسا | ٦ | ١,١ |
| عمان | ٨ | ١,٤ | تايوان | ٦ | ١,١ |
| دول أخرى | ٣٨ | ٦,٩ | دول أخرى | ٨١ | ١٤,٦ |
| الجملة | ٥٥٤ | ١٠٠ | الجملة | ٥٥٤ | ١٠٠ |

**جدول (٣/٦) : تجارة الغاز المسال فى منطقة آسيا باسيفيك ٢٠٠١ – ٢٠١٠**

**(الوحدة = مليون طن سنويا)**

| الدول المستوردة | الواردات ٢٠٠١ | الواردات ٢٠١٠ | الدول المصدرة | الصادرات ٢٠٠١ | الصادرات ٢٠١٠ |
|---|---|---|---|---|---|
| ١ | ٢ | ٣ | ٤ | ٥ | ٦ |
| اليابان | ٥٤,١ | ٦٥ | أندونيسيا | ٢٣,٢ | |
| كوريا الجنوبية | ١٥,٩ | ٢٦ | ماليزيا | ١٥,٣ | |
| تايوان | ٤,٦ | ١٢ | قطر | ١٠,٩ | |
| دول مرشحة: الصين والهند | — | ٢٧ | استراليا | ٧,٥ | |
| باكستان، الفلبين، تايلاند | — | — | برنارى | ٦,٦ | |
| الجملة (مليون طن غاز طبيعى مسال) | ٧٤,٦ | ١٤٠ | أبو ظبى | ٥,٢ | |
| | | | عمان | ٤,٥ | |
| الجملة (مليار متر مكعب) | ١٠٢,٢ | ١٩٢ | ألاسكا | ١,٣ | |
| | | | الجملة (طن) | ٧٤,٥ | |
| | | | الجملة (متر مكعب) | ١٠٢,١ | |

## ١٠ - احتياطيات الغاز فى الاتحاد السوفيتى السابق :

تتركز احتياطيات الغاز فى دول يفيض فيها الإنتاج فوق حاجتها المحلية منه، وبصفة خاصة الاتحاد السوفيتى (سابقا) الذى وجد به نحو ٣٦٪ من

احتياطيات العالم (منها ٣١٪ فى روسيا الاتحادية)، ثم الشرق الأوسط ويبلغ نصيبه ٣٤٪ وأفريقيا ٧٪.

على حين تفتقر أهم المناطق المستهلكة للغاز للاحتياطيات التى تساند استهلاكها، ومن بينها أمريكا الشمالية التى تنفرد بنحو ٣٠٪ من الاستهلاك العالمى للغاز بينما لا يتجاوز نصيبها من الاحتياطى ٥٪، وكذلك الحال بالنسبة لأوروبا التى يبلغ نصيبها من الاستهلاك العالمى نحو ٢٠٪ بينما لا يتجاوز نصيبها من الاحتياطى ٣٪، ثم منطقة آسيا باسيفيك التى يبلغ نصيبها من الاستهلاك العالمى ١٣٪ ولا يتجاوز نصيبها من الاحتياطيات ٨٪ .

### ١١ - التجارة العالمية فى الغاز الطبيعى المسال :

تعتبر التجارة العالمية فى الغاز الطبيعى المسال ذات أهمية خاصة بالنسبة للدول العربية المصدرة للغاز حيث تعتمد فى التصدير أساسا على هذا النوع من الغاز، كما تعتبر منطقة آسيا باسيفيك السوق الطبيعية للصادرات العربية من منطقة الخليج، وأوروبا الغربية السوق الطبيعية لصادرات شمال أفريقيا.

يوجد اتجاه لبعض المشروعات القائمة فى الخليج العربى لتزويد أوروبا بجانب من احتياجاتها من الغاز المسال كالآتى :

من قطر إلى إيطاليا بنحو ٣,٧ مليون طن فى عام ٢٠٠٥

عمان إلى أسبانيا ١,٦ مليون طن فى عام ٢٠٠٦

ومصر إلى إسرائيل ٢ مليار دولار فى عام ٢٠٠٨ .

(قناة الجزيرة ٤ / ٢٠٠٧ )

لعل ما هو أكثر إجحافا بحقوق الدول المصدرة للغاز أن تعد دراسات الجدوى وتنفيذ المشروعات بالفعل على أساس سعر الغاز الجاف لا يتجاوز من ٥٠ سنتا إلى ٨٠ سنتا لكل مليون وحدة حرارية (Btu) ، فإن هذا يعنى أن الغاز الجاف يصدر من موانى الدول المصدرة بما لا يزيد عن ٥,٥ دولار إلى ٥,٨ دولار لما يعادل حراريا برميل زيت خام، ذلك مع أن الغاز الطبيعى لا يحتاج إلى تكرير فى مصانع، كما أنه يتفوق على الزيت من حيث نظافته بيئيا .

## ١٢ - احتياطى الغاز فى الشرق الأوسط وشمال أفريقيا :

١ - يقدر أن لدى الشرق الأوسط ٣٤٪ من باقى احتياطى العالم واحتمال ما لا يقل عن ١٩٪ من الاحتياطى غير المكتشف. ويقدر أن لدى الشرق الأوسط ٥٣,٩ تريليون متر مكعب من الاحتياطى المؤكد هو من ١١٥ - ١٣٦ تريليون مترمكعب من احتياطى العالم يوجد فى الشرق الأوسط.

حاليا لدى الشرق الأوسط وشمال أفريقيا حوالى ٤٠,٨٪ من احتياطى الغاز على مستوى العالم (منها ٣٤٪ فى الشرق الأوسط والباقى فى الجزائر ومصر وليبيا). احتياطى الشرق الأوسط هذا زاد عن الضعف منذ ١٩٨٢، حيث زاد من ٢٦ تريليون قدم مكعب فى عام ١٩٨٢ إلى ٤٩ تريليون متر مكعب فى عام ١٩٩٢، وينتظر أن يصل إلى ٦٣ تريليون متر مكعب فى ٢٠٠٢ .

ولكن توجد معوقات نحو عمليات الاستكشاف للزيت والغاز بسبب الحروب والصراعات الداخلية فى دول مثل الجزائر، إيران، العراق. ويقدر الاحتياطى غير المكتشف بحوالى من ٢٥,٤٪ إلى ٢٥,٨٪ من الاحتياطى العالمى.

بالمقارنة فإن الولايات المتحدة هى واحدة من أكبر الدول المستهلكة للغاز، ويقدر أن لديها أقل من ١٠٪ من الاحتياطى العالمى المتبقى، وسوف تعتمد على الواردات أساسا من كندا ومن المكسيك.

* أوروبا هى الأسرع فى زيادة معدلات استهلاك الغاز، ولكن لنضوب احتياطياتها فسوف تعتمد على الواردات من الاتحاد السوفيتى السابق ومن الشرق الأوسط.

* بعض المصادر تبين أن أوروبا سوف تستورد ٦٠٪ من احتياجاتها من الغاز الطبيعى بحلول عام ٢٠٢٠ .

* اليابان ومعظم الدول الآسيوية لديها القليل أو احتياطيات غير مؤكدة.

* منطقة الشرق الأوسط لديها ثلث الإنتاج الكلى، رغم أن لديها احتياطيات أكبر من الغاز .

* كل صادرات الغاز من الخليج تكون فى شكل غاز طبيعى مسال، رغم أن إيران تصدر الغاز إلى أوروبا بواسطة خطوط مواسير خلال تركيا.

* العديد من دول الخليج لديها خطوط مواسير خلال المحيط الهندى، باكستان، أو إلى الهند خلال أفغانستان.

* قطر لديها احتياطيات غاز تزيد عن احتياطيات الزيت وتوسعت فى إنشاءات تسييل الغاز الطبيعى. وهى تدرس زيادة طاقة تسييل الغاز الطبيعى إلى الثلاثة أضعاف، أى إلى ٤٥ مليون طن مترى فى العام حتى ٢٠١٠، بالإضافة إلى دورها فى خط المواسير الطويل لخدمة المستهلكين فى منطقة الخليج. مشروع دولفن (Dolphin).

* إنتاج الإمارات من الغاز هو غاز مصاحب مرتبط إلى حد كبير ومحدود طبقا لإنتاج البترول.

* السعودية يحتمل أن تصبح مصدرا للغاز فى السنين القادمة.

* الجزائر هى ثانى أكبر منتج للغاز المسال فى العالم، ولديها صادرات كبيرة بواسطة خطوط المواسير.

* أوروبا الغربية ثانى أكبر مستورد للصادرات وتستقبل الإمدادات بخطوط مواسير إلى إيطاليا، أسبانيا، البرتغال وبواسطة ناقلات الغاز المسال إلى فرنسا، أسبانيا إيطاليا، بلغاريا، اليونان، البرتغال.

* الجزائر تصدر حوالى ٠,٨ تريليون عبر خط مواسير (Transmed) خلال تونس إلى إيطاليا، كما أن الجزائر وإيطاليا يدرسان خط مواسير جديد خلال سردينيا وكورسيكا. كما يحتمل بناء خط مواسير جديد (Medgas) إلى أسبانيا، بطاقة ٠,٣ – ٠,٦ تريليون قدم مكعب .

* تقوم مصر ببناء قافلة لتصدير الغاز إلى فرنسا وأسبانيا كما قامت بعمل خط للتصدير إلى الأردن ثم سوريا ثم إلى تركيا.

* توقعات زيادة تدفقات الغاز من الشرق الأوسط فى الفترة من ٢٠٠٠ إلى ٢٠٣٠ كالآتى :

* من ١,٧ مليار مترمكعب إلى ١٠٤ مليار مترمكعب إلى أمريكا الشمالية.

* من ٠,٤ مليار مترمكعب إلى ١٦٠ مليار مترمكعب إلى أوروبا.

* من صفر إلى ٢٧ مليار مترمكعب إلى جنوب آسيا.

* من ٢١ إلى ٦٠ مليار مترمكعب إلى اليابان وكوريا.

* من صفر إلى ١٣ مليار مترمكعب إلى الصين.

* بالمقارنة فإن صادرات روسيا سوف تزداد ٢,٥ ضعف من ١١٢ مليار مترمكعب فى ٢٠٠٠ إلى ٢٧٧ مليار مترمكعب فى ٢٠٣٠ .

* إنتاج الغاز الطبيعى فى الدول العربية فى الفترة من ١٩٩٢ - ٢٠٠٥ بالمليار متر مكعب فى اليوم كما فى الجدول التالى :

جدول (٣/٧) : إنتاج الدول العربية من الغاز الطبيعى :

| الدولة | ٩٢ | ٩٣ | ٩٤ | ٩٥ | ٩٦ | ٩٧ | ٩٨ | ٩٩ | ٢٠٠٠ | ٢٠٠١ | ٢٠٠٢ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ١ | ٢ | ٣ | ٤ | ٥ | ٦ | ٧ | ٨ | ٩ | ١٠ | ١١ | ١٢ |
| ليبيا | ٦,١ | ٥,٨ | ٥,٨ | ٥,٨ | ٥,٨ | ٦ | ٥,٨ | ٤,٧ | ٥,٤ | ٥,٦ | ٥,٧ |
| مصر | ٨,٤ | ١٠ | ١٠,٦ | ١١ | ١١,٥ | ١١,٦ | ١٢,٢ | ١٤,٧ | ١٨,٣ | ٢١,٥ | ٢٢,٧ |
| الجزائر | ٥٥,٣ | ٥٦,١ | ٥١,٦ | ٥٨,٧ | ٦٢,٣ | ٧١,٨ | ٧٦,٦ | ٨٦ | ٨٤,٤ | ٧٨,٢ | ٨٠,٤ |
| الإمارات | ٢٢,٢ | ٢٣ | ٢٥,٨ | ٣١,٣ | ٣٣,٨ | ٣٦,٦ | ٣٧,١ | ٣٨,٥ | ٣٨,٤ | ٤٥ | ٤٦ |
| سوريا | ١,٦ | ١,٤ | ١,٥ | ١,٩ | ٢,٥ | ٣,٨ | ٤,٣ | ٤,٥ | ٤,٢ | ٤,٣ | ٤,١ |
| السعودية | ٣٨,٣ | ٣٤ | ٤٢,٨ | ٤٢,٩ | ٤٤,٤ | ٤٥,٣ | ٤٦,٨ | ٤٦,٢ | ٤٩,٨ | ٥٣,٧ | ٥٦,٩ |
| قطر | ١٢,٦ | ١٣,٥ | ١٣,٥ | ١٣,٥ | ١٣,٧ | ١٧,٤ | ١٩,٦ | ٢٢,١ | ٢٤,٩ | ٢٧,٩ | ٢٩,٣ |
| عمان | ٢,٩ | ٢,٨ | ٢,٩ | ٤,١ | ٤,٤ | ٥ | ٥,٢ | ٥,٥ | ٨,٤ | ١٤ | ١٤,٨ |
| الكويت | ٢,٦ | ٥,٤ | ٦ | ٩,٣ | ٩,٣ | ٩,٣ | ٩,٥ | ٨,٦ | ٩,٦ | ٩,٥ | ٨,٧ |
| العراق(*) | | | | | | | | | | | |
| إيران | ٢٥ | ٢٧,١ | ٣١,٨ | ٣٥,٣ | ٣٩ | ٤٧ | ٥٠ | ٥٦,٤ | ٦٠,٢ | ٦٣,٣ | ٦٤,٥ |

(*) يتم حرقه عند رأس البئر أو حقنه في آبار البترول لتنميتها.

# الفصل الرابع

## ماذا بعد البترول: من وجهة نظر الولايات المتحدة المستهلك الرئيسى للطاقة ولماذا أن المصادر البديلة للطاقة سوف لا تنقذنا بعد نفاد البترول؟

### ١- مقدمة:

ما ندركه ونعيشه الآن، لا توجد بدائل للطاقة التى توفر لنا استمرار الحياة بالطريقة التى تعودنا عليها باستخدام زيت البترول. البدائل المعروفة التى سيتم تناولها تشمل الغاز الطبيعى، الفحم، الرمال البترولية (Tar Sonds)، طفل الزيت (Shale Oils)، الإيثانول، الانشطار النووى، الطاقة الشمسية، طاقة الرياح، طاقة المد، هيدريت الميثان (Methane Hydrate).

إنه بالتأكيد سوف يستخدم كثير من البدائل بقدر الاستطاعة، ولكن كل هذا سوف لا يعوض النقص فى الإمداد بزيت البترول. إلى حد ما كل مصادر الطاقة غير الأحفورية تعتمد على اقتصاديات الوقود الحفرى. فلا يمكن صناعة تربينات الرياح المعدنية باستخدام طاقة الرياح، ولا يمكن صناعة بطارية حامضية من الرصاص لتخزين الطاقة الشمسية باستخدام أى نظم معروفة للطاقة الشمسية.

إنه بسبب البترول تحققت الانتصارات التكنولوجية التى أوجدها عصر البترول، حيث أصبحت التكنولوجيا نفسها نوعا من القوة غير العادية والتى أثبتت إعجازها فى ذاكرة كل البشر فى حياتهم الآن، كل شىء من رحلات الطيران إلى الصور المنقولة إلى نقل أعضاء الجسم. لا شك أن التكنولوجيا قد ساعدت فى إطالة عمر الإنسان وحاربت البؤس وجعلت الحياة اليومية ذات بهجة.

وإذا كنا نميل إلى الخلط بين الطاقة والتكنولوجيا، إلا أنهما يسيران يدا بيد ولكنهما ليسا نفس الشىء. التكنولوجيا هى الأدوات والبرمجة لتشغيل الوقود. التكنولوجيا مرتبطة بالقوانين الطبيعية والديناميكا الحرارية، حيث كلاهما ينص على

أنه لا يمكن الحصول على أى شيء بدون شيء. المنحة الطبيعية لزيت البترول كانت حدثاً فريداً وغير عادى، حيث أمكن لنا استخدام الطاقة المخزونة من ضوء الشمس لملايين السنين. ومع نضوب الزيت فإنه سوف يختفى إلى الأبد، وبدونه سوف نفتقد نمط الحياة الذى نعيشه الآن.

## معوقات ومشاكل استخدام بدائل البترول

في الوقت الراهن توجد مشاكل ومعوقات نحو استخدام بدائل البترول، حيث سيتم تناول: الغاز الطبيعى، الهدروجين، الفحم، الطاقة الكهرومائية، الطاقة الشمسية وطاقة الرياح، الزيوت المخلقة، التحلل الحرارى، الكتلة الحيوية، هيدريت الميثان، الطاقة النووية.

### ١ – الغاز الطبيعى :

الغاز الطبيعى نعنى به الغازت الطبيعية التى تأتى من تحت الأرض والتى يكون محتواها من غاز الميثان الذى هو أخف الغازات حوالى ٧٥٪ وذلك فى المنتج التجارى المستخدم فى الصناعة وفى توليد الكهرباء وفى التدفئة المنزلية فى الدول ذات المناخ البارد. الغازات الأخرى مثل البروبين والبيوتين ... إلخ يتم فصلها فى التصنيع حيث تصبح أسهل فى التحول إلى السيولة وذلك لكونها أكثر كثافة ووزنا عن غاز الميثان ($CH_4$) .

الغاز الطبيعى ليس له لون وليس له رائحة. تضاف كمية قليلة من مادة (Dimethyl Sulphide) إلى الغاز التجارى لإعطائه الرائحة الكريهة التى تسهل من اكتشاف تسربه، حيث يعتبر ذلك إنذارا. الغاز الطبيعى مفرقع عند اختلاطه مع الهواء بتركيز من ٥ إلى ١٥ ٪. يتكون الغاز الطبيعى بنفس الطريقة مثل البترول ولكن فى ظروف جيولوجية ذات حرارة وضغط أعلا. عادة يصاحب إنتاج البترول خروج غازات؛ وهذا يسمى الغاز المصاحب وهو عادة من الغازات الثقيلة. الغاز الطبيعى هو وقود عجيب. فهو يستخرج بسهولة من الأرض، بفعل الضغط الذاتى وبدون استخدام طاقة للضخ (يمكن كذلك تقطيره من الفحم، ولكن تكاليف استخراج الفحم بالإضافة إلى تكاليف تقطيره تضاف إلى التكاليف الكلية). الغاز الطبيعى وقود نظيف فعند حرقه ينتج القليل جدا من الجسيمات وقد لا ينتج ولكنه ينتج ثانى أكسد الكربون الذى هو الغاز الرئيسى لتأثير الصوبة والاحتباس الحرارى – الغاز الطبيعى يسهل نقله عند

درجة الحرارة العادية خلال شبكة من المواسير (فى أمريكا الشمالية يتم توصيل الآبار ومنشآت التخزين النهائى إلى المستخدم النهائى. الغاز الطبيعى ليس متعدد الاستعمالات مثل الجازولين (بنزين السيارات) ولكنه يستخدم كمادة خام للعديد من الكيماويات، المستحضرات الدوائية، والبلاستيك. ٩٥٪ من السماد النتروجينى المستخدم فى معظم دول العالم يتم تصنيعه من الغاز الطبيعى، لذلك فإن الغاز الطبيعى يعتبر لا غنى عنه فى مجال التنمية الزراعية.

فى بداية القرن العشرين، اعتبر الغار الطبيعى المصاحب لإنتاج البترول كمنتج ثانوى وكان يتم اشتعاله بطريقة روتينية عند رأس البئر أو يتم حرقه عند تصنيع البترول. وبعد الحرب العالمية الثانية أنشئت شبكة لحمل الغاز بما جعلته مصدرا مفيداً للطاقة فى الولايات المتحدة.

**الموقف الأمريكى من استخدام الغاز الطبيعى :**

فى عام ذروة للغاز وأزمة البترول التى قامت بها منظمة الأوبك فى عام ١٩٧٣ لجأ الكثير إلى استخدام الغاز بدلا من البترول، والذى أدى إلى تكنولوجيا زيادة كفاءة احتراق الغاز. ولكن فى عام ١٩٧٨ حدث هبوط ملحوظ فى إنتاج الغاز، حيث كان إعلان كارتر رئيس الولايات المتحدة الأمريكية تحريم استخدام الغاز والبترول كوقود لأى محطات جديدة لإنتاج الكهرباء. طبقاً لسياسة كارتر كان الفحم والطاقة النووية هما البديل لتحقيق المطالب الجديدة. ولكن فى مارس ١٩٧٩ حدث انصهار جزئى لثلاثة مفاعلات نووية وهى مفاعلات (Mile Island, Harris-burg, Pensylvania)، وهذا أوقف أى نمو فى الصناعات النووية، هذا بالإضافة إلى أن القوانين البيئية فى عام ١٩٧٠ حذرت كذلك من استخدام الفحم نظراً لما يسببه من المطر الحمضى.

وفى هذه الأثناء وفى منتصف عام ١٩٨٠ انخفض استهلاك الغاز الطبيعى فى الولايات المتحدة الأمريكية بنسبة ٢٤٪ عن المستويات فى عام ١٩٧٠ ، حيث حدث ركود فى استخدام الغاز ولكن جاء إعلان ريجان على غير ما أعلنه كارتر حيث استخدم الغاز فى مشروعات الطاقة. وفى أبريل عام ١٩٨٦ حيث انصهر مفاعل تشيرنوبل فى أوكرانيا والذى كان أسوأ من ما كان عليه الثلاثة مفاعلات الأمريكية؛ لذلك فإن حادث تشيرنوبل قضى على توقعات صناعة نووية فى أمريكا، حيث

أصبحت الولايات المتحدة فى مأزق. فقد كان كل من زيت البترول والغاز الطبيعى فى استنزاف مستمر، كما استغلت كل المساقط المائية لإنتاج الكهرباء. الفحم كان تداوله واستخدامه ملوثا للبيئة. الوقود النووى كان محظوراً سياسيا. وأصبحت أمريكا تستورد أكثر من نصف احتياجاتها من البترول مع عدم الرغبة فى الدخول فى أزمة ابتزاز خارجية أخرى. رغم أن الولايات المتحدة منتجة للغاز إلا أنها تستورده من كندا الجار والصديق؛ ولذا فقد تم التخطيط لاستخدام الغاز فى أكثر من ٢٧٥ محطة توليد كهرباء لتبدأ العمل فى ٢٠٠٦، هذا بالإضافة إلى ١٥٨ محطة تعمل بالغاز منذ عام ٢٠٠٠، وهذا سيزيد استهلاك الغاز لأكثر من ٨٠٥ تريليون قدم مكعب فى العام.

فى عام ٢٠٠٠ رغم التحسن فى تكنولوجيا الحفر وزيادة جهود الاستكشافات فى خليج المكسيك، فإن إنتاج الولايات المتحدة من الغاز كان ولا يزال ١٠٪ أقل من الإنتاج فى عام ١٩٧٣ . الفرق بين الإنتاج والاستهلاك تم تعويضه بزيادة استيراد الغاز من كندا بواسطة النقل البحرى. حاليا إنتاج الغاز الطبيعى الأمريكى ينخفض بمعدل ٥٪ سنويا، ذلك رغم أعمال الحفر والاستكشافات الجديدة، آبار الغاز الضخمة الـ ١٦٧ التى كانت تمثل ١٤,٥٪ من إمدادات الغاز أصبحت تنتج فقط ٣٪ فى عام ٢٠٠٣، أى بمعدل هبوط ٨٢٪.

عند نضوب آبار الغاز، فإن إنتاج الغاز يتوقف عن الخروج من البئر. وهذا يخالف آبار الزيت، والتى تمضى ما بين التدفق عند ضغط عالى إلى التدفق المتوسط لفترة زمنية طويلة، وأخيراً الانبثاق بضغط الماء أو الغاز (عادة يكون زيتا مخلوطاً مع الماء) . آبار إنتاج الغاز تتوقف بدون أى إنذار، وهذا ما حدث لآبار الغاز الأمريكية. فقد قفز معدل النضوب بشدة فى العقد الماضى، فى هذه الأثناء انخفض اكتشاف حقول غاز جديدة فى الولايات المتحدة الأمريكية، كما أنه انخفض اكتشاف حقول زيت جديدة فى كل العالم. نضوب حقول الغاز الأمريكية (خارج المياه البحرية) كان منتظماً. الغاز الجديد الذى يمكن وجوده يقع فى أسفل المياه البحرية فى شكل بقع أو عدسات وغالبا حول خليج المكسيك. كانت إمدادات الغاز فى الولايات المتحدة بطيئة فى مارس وأبريل من عام ٢٠٠٣، بعد شتاء شديد البرودة ولكن المسئولين واجهوا هذا الموقف بالإيقاف المتدرج بطريقة رشيدة لحماية الحياة والمنشآت، حيث توقف الإمداد للصناعات أولا ثم محطات الطاقة، وأخيراً إلى مستخدمى التدفئة المنزلية؛ ذلك لأن المواطنين يفضلون الجلوس فى الدفء وفى الظلام بدلا من رؤية المواسير المتجمدة

تنفجر فى وجود الضوء، وإن كان هذا لم يحدث تماماً ولكنه كان قريبا من أن يروع الأنشطة الحكومية والتنموية.

كان هناك تأثير آخر وهام نتيجة عدم وفرة الغاز الطبيعى، فمثلا الخوف من أن مخزون الاحتياطى من الغاز سوف ينصب إلى الحد بحيث ينخفض الضغط بما يشكل خطورة فى خطوط مواسير نقل الغاز. فى حالة انخفاض ضغط الغاز فى المواسير الموصلة إلى مدينة مجاورة إلى حد كبير، أو فى حالة تأرجحه، عندئذ فإنه سوف تنطفئ الأفران المنزلية، معظم الناس لا يدركون كيفية تشغيلها بما يتطلب إرسال فنيين لتشغيلها. ولكن ماذا عن المساكن التى كانت لسبب ما لم يتم الانتباه إليها؟ ، فبمجرد استعادة الخدمة وتغذيةخطوط المواسير إلى المساكن، عندئذ فإن الغاز المتدفق من سخانات الماء والأفران المتروك على وضع التشغيل فى حالة انخفاض الضغط سوف يسبب حدوث انفجار عند بدء تدفق الغاز ثانياً. كما أن إعادة ضغط الغاز فى خطوط المواسير سيكون عملية صعبة ومكلفة حتى فى حالة زيادة المخزون من الاحتياطى.

فى ظروف شتاء ٢٠٠٣ تضاعف سعر الغاز الطبيعى من حوالى ٣ دولارات لكل ألف قدم مكعب إلى حوالى ٦ دولارات. وقد أدى هذا إلى أن كثيرا من مصانع الصناعات الكيميائية قررت نقل أنشطتها إلى دول أخرى بما فيها نصف المصانع المنتجة للأسمدة وذلك إلى دول فى آسيا وفى الشرق الأوسط.

الولايات المتحدة فى الواقع تواجه عجزا فى الغاز الطبيعى بشكل حاد ومتسارع والذى سوف يسبب أزمة حقيقية عاجلا أو آجلا. وكندا تواجه أيضا أزمة مضاعفة فهى تصدر ثلثى إنتاجها من الغاز الطبيعى إلى الولايات المتحدة.

يوجد ضغط سياسى واقتصادى كبير على كندا لاستثمار رمال القار (Tar Sands) الضخمة والكبيرة فى البرتا (Al Berta)، والتى يقال أنها تحتوى على ما يكافئ ٢٠٠ مليون برميل من الزيت (ما يعادل ٢٠٪ من الزيت التقليدى المتبقى). ولكن تصنيع رمال القار إلى زيت ليست عملية سهلة أو رخيصة. فالقار لا يتم خروجه من الأرض بالطريقة التى يخرج بها الزيت. الحصول عليه يشبه عملية الاستخراج من حفرة مكشوفة، وبمجرد الحفر واستخراج المادة فإنه يتم غسيلها بأحجام ضخمة من المياه عالية السخونة (Super Heated) وذلك قبل إرسالها إلى مرحلة التنقية

والتقطير. هذه العملية تنتج كذلك كميات ضخمة من المياه الملوثة. وكل من الاستخراج والغسيل يتطلب كميات ضخمة من الطاقة، وقد قدر أن استثمارات رمال قار ألبرتا ستأخذ ٢٠ ٪ من إجمالى إنتاج الغاز الطبيعى فى كندا. على المدى الطويل قد لا يكون من المجدى استغلال الطاقة من الغاز للحصول على الطاقة من القار. وفى حالة استخدام الزيت المستخرج من رمال القار نفسها لاستخراج الزيادة فى رمال القار وتصنيعها، فإن العائد سوف يكون ثلاثة براميل من الزيت لكل برميلين مستهلكين. حالة الطفلة الزيتية (Oil Shale) هى كذلك مشابهة لتكاليف فصل الزيت من المسام الصخرية.

فى السنين الأولى لاكتشاف الزيت التقليدى فى تكساس، وجد الزيت قريبا من السطح على الأرض الجافة، وفى أماكن معتدلة يسهل العمل فيها وكان يندفع خارج الأرض تحت تأثير ضغطه، وفى حالة ضعف تأثير ضغطه يتم ضخه خارج الأرض. بعد عدة سنين حيث قام المنتجون باستخراج الزيت من أعماق أكثر عمقاً وفى أماكن أكثر صعوبة وباستخدام طرق حفر مطورة ومكلفة. فقد زادت التكاليف عند استعادة الزيت من المنصات البحرية فى بحر الشمال البارد والعواصف الشديدة، فقد أصبح أكثر تكلفة مقارنة بالحفر فى الأرض المستوية فى تكساس، وإن كانت التكلفة تستحق الإنتاج.

الإنتاج المستقبلى للغاز الطبيعى فى أمريكا الشمالية قد يصل إلى حالة عدم الجدوى الاقتصادية. معدل النضوب سريع، كما لا توجد أعمال حفر متميزة توفر المطلوب. فى الأمور الطبيعية الدولية، ارتفاع الأسعار بسبب الندرة يدفع إلى عدم الحاجة، ولكن نظرا لعدم وجود بديل من مصادر الطاقة القادر على القيام بدور الغاز حاليا، فإن عدم الحاجة فى هذه الحالة سوف يعنى إفساد نمط الحياة للشعب الأمريكى والشعوب الغربية ذات المناخ البارد. فمثلا، فى حالة استبدال استخدام التدفئة المنزلية بالكهرباء بدلا من الغاز الطبيعى، ونظرا لارتفاع أسعار استهلاك الكهرباء فإن الموقف سينعكس على الأسر الأمريكية فإما أن ترتجف أو تفلس.

هناك اقتراحات غير مناسبة لزيادة الإمداد بالغاز وهى خط مواسير مقترح إلى منطقة دلتا ماكينزى فى شمال كندا والذى تكلفته عشرة مليارات من الدولارات وسوف يستغرق تنفيذه عدة سنين، ونفس الشيء للمصدر فى ألاسكا

فى الجنوب؛ ولذلك فإن المشاكل المتوقعة هى فى حال الحصول على الغاز من نفس القارة.

لنقل الغاز الطبيعى فى خطوط المواسير فإنه تستخدم مضخات صغيرة لنقل الغاز بتكلفة بسيطة، وذلك عند درجة الحرارة العادية. ولكن للحصول على الغاز الطبيعى من وراء البحار فإنه يجب تسييله ونقله فى خزانات خاصة فى شكل سائل مضغوط بضغط عال جداً وتحت درجة حرارة منخفضة (٦٠ ضغط جوى، – ١٦٠°م) وهذا يحتاج إلى نفقات إضافية. يتم تخزين الغاز الطبيعى فى تجهيزات خاصة فى موانى المدن المستهدفة، حيث يتم إعادة تحويله إلى الحالة الغازية وتوزيعه فى خطوط المواسير.

أكبر مصادر للإمداد بالغاز توجد فى الشرق الأوسط وآسيا، والغاز المسال المستورد يمثل حوالى ٢ ٪ من الغاز المستخدم فى الولايات المتحدة الأمريكية. فى الوقت الحالى تفتقد الولايات المتحدة البنية الأساسية لاستقبال الغاز الطبيعى المسال فى كثير من موانيها، كما أن الشركات العالمية لديها عدد قليل من سفن الحاويات المضغوطة اللازمة لنقل الغاز الطبيعى المسال. وقد اقترح جهاز الطاقة فى الولايات المتحدة الأمريكية أنه يلزم ما لا يقل عن اثنى عشر نهايات استقبال الغاز الطبيعى المسال لتجنب مشكلة الاختناق فى الإمداد، والتى يلزم لها عقد من الزمان. كذلك فإنه من المهم أن يؤخذ فى الاعتبار أن سفن الحاويات للغاز الطبيعى المسال شديدة الانفجار وسوف تكون هدفا ممتازا للهجوم الإرهابى، وحتى فى ظروف العمل العادية فإن نقل الغاز الطبيعى أكثر خطورة من نقل الزيت. وترى أمريكا أن الواقع العملى يستلزم الحصول على الغاز من القارة التى تسكنها تجنبا لكثير من المشاكل.

### ٢ – اقتصاديات الهدروجين : (Hydrogen Economy)

هناك اعتقاد أن الهدروجين سوف يكون هو المنقذ عند نضوب زيت البترول والغاز، ولكن هذا يعتبر مؤشرا لمدى الوهم الذى أصبح فيه هؤلاء. ولكن فكرة الهدروجين كوقود هى فكرة مغرية ذلك لأن المنتج الوحيد لاحتراق الهدروجين هو بخار الماء، والذى يبدو أنه يحقق الحماية من دفء الأرض وتلوث الهواء. كذلك فإن الهدروجين متاح بوفرة شديدة كعنصر كيميائى فى الماء وفى الغاز الطبيعى. ولكن قليلا من المعدات التى يمكنها استخدام الهدروجين، ولكن

ليست كل السيارات والحافلات. ولذلك فإنه على المدى الطويل سوف لا يكون بديلا عن الزيت والغاز.

فرضية استخدام الهدروجين بدلا من الزيت والغاز يكون مرتبطا بتكنولوجيا خلية الوقود (Fuel Cell). خلية وقود واحدة هى عبارة عن قطعة من البلاستيك بين زوج من ألواح الكربون (Carbon Plates) الموجودين بين لوحين نهاية (End Plates) اللذان يعملان كأقطاب (Electrodes). هذان اللوحان لهما قنوات تقوم بتوزيع الوقود والأكسجين، وتكون فى شكل نماذج يمكن جمعها فى مصفوفات لإنتاج كميات مختلفة من الطاقة. خلايا الوقود يمكن أن تعمل بكفاءة تساوى ضعف أو ثلاثة أضعاف تلك لمحرك الاحتراق الداخلى، ولا تتطلب أجزاء متحركة. فى نوع من التحليل الكهربى العكسى (Reverse Electrolysis)، الهدروجين الذى يتم إدخاله خلال الغشاء المعدنى (Catalytic Metal Membrane) – يتحد مع الأكسجين لإنتاج بخار الماء والتيار الكهربى الذى يستخدم فى عمل شغل مفيد.

كمثال، فى سيارة خلية الوقود، يتم توفير الطاقة الكهربية من خلية الوقود إلى محرك كهربى حيث تسير السيارة، ولكن بسبب تكاليف إنتاج الهدروجين النقى فإن معظم التقنيات لعمل خلايا الوقود بالإنتاج التسويقى الكبير تفترض استخدام الغاز الطبيعى أو الميثانول ($C_2\ H_5$) كوقود، وهذا سوف ينتج $CO_2$ – خلايا الوقود استخدمت لفترة طويلة، وفى عام ١٩٥٠ بدأت وكالة الفضاء الأمريكية ناسا فى بناء خلية وقود مدمجة لتوليد الكهرباء لاستخدامها فى رحلات الفضاء. التكلفة لم تكن عائقا، خلايا الوقود والهدروجين المستخدم فيها كان أخف وزنا من البطاريات وهو من العوامل الهامة للأحمال فى صواريخ رحلات الفضاء، بعد ذلك، وفى رحلات الفضاء الحاملة للإنسان استخدم الماء الذى تنتجه خلايا الوقود فى الشرب. لا يوجد خلاف نحو وجود خلايا الوقود وعملها، ولكن تبرز أسئلة نحو اقتصادياتها. المشكلة تكمن فى أن الهدروجين ليس وقودا بمعنى الكلمة حيث يحتاج فى تصنيعه إلى طاقة تزيد عن الطاقة التى تنتج من الهدروجين.

الهدروجين ينتج تجاريا وله استخدامات صناعية وكيميائية عديدة، ولكن مقارنة بزيت البترول فإن كمية الهدروجين صغيرة جدا. فعند الأخذ فى الاعتبار سير ملايين السيارات والحافلات فإن الهدروجين لا يفى بهذه المتطلبات. تسيير السيارات

باستخدام وقود الهدروجين يترتب عليه فقد فى الطاقة؛ ذلك لأنه لإنتاج الهدروجين فإنه تستخدم طاقة تزيد عن الطاقة الناتجة عن استخدامه، كذلك فإن استخدامات الهدروجين سوف لا تكون مناسبة لتدفئة ملايين المساكن بدلا من الغاز أو الزيت. الهدروجين يشكل ٧٣٪ من كل المادة فى الكون، على الأقل القريب منا فى كوكبنا، ولكنه لا يوجد فى الطبيعة فى الشكل الحر غير المتحد قريبا من كوكب الأرض، فهو دائماً مرتبط مع عناصر أخرى فى شكل مركبات كيميائية. الماء ($H_2O$) هو ذرتين هدروجين مرتبطين بذرة أكسجين الهدروكربونات مثل الزيت والغاز الطبيعى (الميثان) هى مركبات هدروجين طبيعية التى يمكن أن تحترق وتطلق طاقة.

طريقة تحرير الهدروجين من الهدروكربونات أو من الماء يصاحبها استخدام للطاقة تزيد عن الطاقة المنتجة من الهدروجين كوقود، والمحصلة النهائية هى فقد فى الطاقة، حيث تصل نسبة الطاقة المستخدمة إلى الطاقة المنتجة ١,٤ ÷ ١ ، أى أنه يتم الحصول على وحدة واحدة من الطاقة من كل ١,٤ وحدة مستخدمة من الطاقة. مقارنة ذلك بنسبة زيت البترول ١ : ٢٠ نجد أن الزيت هى منحة كبيرة.

توجد مشاكل أخرى كثيرة بالنسبة للهدروجين كبديل لوقود الهدروكربونات الذى نستخدمه حاليا فى عصر الحضارة الصناعية. وهذه المشاكل تتعلق بالتخزين والنقل. الكثافة المنخفضة جداً للهدروجين بسبب وزنه الذرى المنخفض تعنى أنه يشغل حيزاً كبيراً من المساحة. فى السيارات يلزم ضغطه وتخزينه فى خزانات عند ضغط عال. حزان الوقود سوف يشغل حيزاً كبيراً فى السيارة، كذلك فإن ضغط الغاز يحتاج إلى كم من الطاقة وتلك تكلفة إضافية. لكل خلية طاقة من الهدروجين لتسيير سيارة بنفس قدرة وقود الجازولين (بنزين السيارات) الحالية يتطلب تخزين الهدروجين عند ضغط ١٠٠٠ رطل على البوصة المربعة والذى يعتبر ضغطا عاليا جداً، ولتقوية تلك الخزانات لتتحمل هذا الضغط فإنه تستخدم شعيرات الكربون فائقة القوة. مثل هذه الخزانات قد تقاوم التصادم عند السرعات العالية، ولكن هل ستكون الوصلات بهذا الخزان قادرة على التحمل. وفى حالة خلاف ذلك فإن الهدروجين سوف يتسرب بسرعة لكونه تحت ضغط مرتفع بما يشكل خطورة.

الهـــدروجـــين شـديـد الـقـابليـة للاشـتـعـال، حـيـث إن خليطا من الهـواء والهدروجين سوف يشتعل خلال مجال كبير من التركيزات من ٤ ٪ حتى ٧٥ ٪ ، وينفجر باستخدام طاقة صغيرة جدا أقل من واحد على عشرة من الطاقة اللازمة لحرق الجازولين فى الهواء. نظراً لأن الهدروجين ينتج كمية كبيرة من الطاقة عند تحرره من الضغط (Decompression) فإنه يمكن أن يحدث له احتراق ذاتى عند الارتطام والتحطم بسبب اندفاع الغاز من الخزان خلال المحابس المدمرة.

**الهدروجين يشكل مشكلتين أخريين بالنسبة لخزانات الحفظ :**

١ – إحداهما هو أنه يتسرب بسهولة – وبسبب وزنه الذرى المخفض جداً فإنه يمكن أن يتسرب خلال فتحات وثقوب متناهية الصغر، فهو غاز يصعب احتواؤه، كذلك فإن الهدروجين شديد العدوانية أى أنه (Corrosive)، فهو يميل إلى الاتحاد مع العناصر والمركبات الأخرى داخل أوعية الحفظ ووصلات المواسير والمحابس ومواد العزل، كل ذلك يكون معرضا للتلف والتحلل السريع أكثر من حالة الغازات الأخرى مثل غاز الميثان. كذلك فإن الهدروجين ليس مثل الجازولين الذى هو سائل عند درجة حرارة الهواء الجوى، حيث الغازات المضغوطة يصعب نقلها من خزان إلى آخر. والحصول على الهدروجين من خزانات إمداد ثابتة إلى خزانات استخدامه لتسيير السيارات فإن ذلك يتطلب طاقة إضافية.

٢ – عامل آخر مرتبط بنقل الهدروجين إلى البنية الأساسية لمحطة الوقود مقارنة بما تم تطويره فى خدمة نظام المحركات الحالى.

الجازولين يتم توزيعه فى خزانات غير مضغوطة بواسطة ناقلات الفنطاس. سائل الهدروجين يلزم نقله فى خزانات ذات ضغط مرتفع جدا. العربة الفنطاس المصممة لحمل ٤٠ طنا من الجازولين تحمل ٢٥ من الجازولين؛ نظراً لأن الهدروجين خفيف، فإن عربات الفنطاس تلك سوف تكون قادرة على حمل نصف طن فقط من الهدروجين. الاستهلاك النسبى للطاقة بواسطة عربة الفنطاس سوف يجعل الهدروجين غير اقتصادى عند أى مسافة.

لقد كتب (Bossil And Eliasson) الآتى :

كمثال : فى حالة محطة وقود متوسطة الحجم تبيع حوالى ٢٥ طنا فى اليوم من الجازولين، حيث يمكن وصول هذه الكمية إلى المحطة بواسطة عربة فنطاس حمولة ٤٠ طنا فى رحلة واحدة. ولكن يلزم ٢١ عربة لنقل نفس الكمية من الطاقة إلى المحطة أى لتوفير وقود الهدروجين لنفس العدد من السيارات كل يوم. السيارات التى تعمل بخلايا الوقود بكفاءة سوف تغير هذا الرتم إلى حد ما ولكن ليس بدرجة كبيرة. نقل الهدروجين المضغوط من العربة الفنطاس إلى محطة التموين يستغرق وقتا أطول مقارنة بصرف الجازولين من العربة الفنطاس إلى خزان أرضى. محطة التموين بالوقود قد تضطر إلى التوقف خلال بعض ساعات من اليوم لأسباب أمنية. حاليا توجد عربة واحدة لنقل الجازولين والديزل من بين ما يزيد عن مائة عربة فى الطريق العام. أما فى حالة نقل الهدروجين بالطريق العام فإننا يمكن أن نرى أن نسبة العربات الناقلة للهدروجين تمثل ١٧ ٪ من العربات على الطرق. وهذا يعنى أن واحدة من بين ستة حوادث سيارات سوف تشمل تلك الحاملة للهدروجين – هذا غير محتمل وغير مقبول لأسباب سياسية واجتماعية.

خطوط المواسير لتوزيع الهدروجين سوف تسبب مشاكل كثيرة. النظام الحالى للغاز الطبيعى لا يمكن استخدامه، فهو يتكون من مواسير ليست ضخمة بما فيه الكفاية على أساس الكثافة المنخفضة للهدروجيى. الهدروجين سوف يسبب التآكل لمواد العزل ويتلف التزليق فى الطلمبات الضرورى للمحافظة على تدفق الغار خلال المواسير على فترات منتظمة خلال مئات الأميال – استعداده للتسرب ستكون معدلاته غير محتملة وغير مقبولة.

باختصار شبكة المواسير الموجودة حاليا يجب إعادة بناءها كلية من جديد بتكاليف تبلغ المليارات من الدولارات، مع افتراض أن كل المشاكل الأخرى يمكن التغلب عليها، وهذا غير محتمل بالإضافة إلى أن كل محطة تموين سيارات يلزم إعادة بنائها لتناسب هذا الاستخدام للهدروجين.

المحصلة النهائية هى أن نظام السيارات التى تعمل بالهدروجين وكل ما يتطلب ذلك من إنشاءات لا يمكن أن يكون بديلا للنظام القائم من الجازولين تحت أى محاولة معقولة ومفهومة. هذا بالإضافة إلى أن استخدام السيارات المصممة للعمل بخلايا الهدروجين سيحرم شريحة كبيرة من المجتمعات من استخدام السيارات نظرا لارتفاع

أسعارها، وهذا سوف يسبب مشكلة اجتماعية بعد أن أصبحت السيارات ضرورية فى الحياة اليومية.

وأخيراً كلما تم التفكير بدقة نحو اقتراح اقتصاديات الهدروجين ظهر واضحا أن هذا من الأمور المضحكة الهزلية.

### ٣ - الفحم : (Coal)

الفحم هو الوقود الذى كان الدافع للثورة الصناعية. لا شك أن اللجوء إلى استخدام الفحم عند بروز مشكلة نضوب الزيت والغاز، حيث تكون النوعية غير جيدة وسعره مرتفعا. وهذا سيتوقف على الموقف من الطاقة النووية، حيث الفحم هو البديل لتوليد الكهرباء.

حرق الفحم مازال أكبر مصدر لتلوث وسمية الهواء، وكذلك المصدر الكبير لدفء كوكب الأرض. حرق الفحم ينتج كمية كبيرة من المخلفات الصلبة (من ٥ - ٢٠ ٪) من حجمه الأصلى. محطة توليد كهرباء تعمل بالفحم يمكنها إنتاج أكثر من مليون طن من المخلفات الصلبة فى العام. الفحم ينتج ٦٠ ٪ من انبعاثات الجسيمات العالقة (تنتج السيارات والحافلات معظم الباقى). الفحم يسبب كذلك تلوث الزئبق الذى يسبب أكثر من ٦٠٠٠٠ حالة تلف المخ للأطفال حديثى الولادة كل عام فى الولايات المتحدة فقط. حرق الفحم مرتبط بمرض الربو الشعبى (Asthma). محطات الطاقة التى تعمل بالفحم هى المسئولة أساسًا عن المطر الحمضى. طبيعى أنه من الممكن معالجة الانبعاثات من محطات توليد الطاقة المستخدمة للفحم كوقود، ولكن هذا سوف يزيد من تكلفة استخدام الكهرباء. فى أى الأحوال، حتى فى حالة تخلص الانبعاثات من الجسيمات والمعادن الثقيلة، فإن الفحم سيظل منتجا لكميات ضخمة من ثانى أكسيد الكربون الذى هو العامل الرئيس فى دفء كوكب الأرض.

فى أغسطس من عام ٢٠٠٣ أعلن بوش قانونا جديدا فى مجال حماية البيئة وهو تعديل لقانون عام ١٩٧٧، الذى يسمح لمعظم محطات الطاقة الملوثة للبيئة بتحديث المعدات، وبدون عمل إجراءات جديدة للحد من الانبعاثات. وقد انتقد العلماء والحكوميون هذا الإجراء ووصفوه بأنه أكبر انتكاسة فى تاريخ قانون الهواء النظيف والذى زاد من سهولة معايير التلوث، استخراج الفحم مدمر للشكل الطبوغرافى لسطح الأرض وملوث للمياه الجوفية .

إن اللجوء إلى الفحم كمصدر رئيسى للطاقة سيكون ارتدادا كبيرا وانتكاسة فى مسار تقدم البشرية. كذلك كانت عصور الظلام انتكاسة إلى الخلف بعد الحضارة الرومانية.

## ٤ - الطاقة الكهرومائية : (Hydroelectric Power)

الطاقة الكهرومائية تعنى توليد الكهرباء بقوة الماء، وعادة تكون فى مواقع على الأنهار حيث يتم توجيه المياه المتدفقة نحو تربينات دوارة التى تعمل على توليد الكهرباء، أو فى خزانات خلف السدود حيث الاحتياطى من الماء المحجوز يعمل على شكل تدفق منتظم ومتاح من النهر ذى التدفق الموسمى، وغريب الأطوار. يمكن كذلك إنتاج الطاقة الكهرومائية بمصدر عمليات المد (Tide) البحرى رغم أن ذلك أكثر صعوبة وأكثر تكلفة ويتم فقط على مستوى كبير.

الطاقة الكهرومائية ممتازة، فهى واحدة من أقدم الطرق لتوليد الكهرباء، فهى لا تنتج ثانى أكسيد الكربون، ولا تسبب التلوث. يمكن استخدام الطاقة المائية من مستوى المولد الصغير للاستخدام المنزلى على جدول أو خليج صغير إلى السدود العالية والتى تضىء كل المدن. الطاقة الكهرومائية غير ثابتة نظراً لأن ما يرسب من مواد التربة والمواد الأخرى خلف السد يقلل من استمرار كفاءته. الخزانات الكبيرة تفقد طاقتها التخزينية بمعدل متوسط ما بين ٠,١٪ إلى ٠,٥٪ فى العام.

محطات الطاقة على الأنهار الصغيرة والروافد هى المستقبل المأمول فى مجال الطاقة الكهرومائية حيث ستكون ضرورية فى حالة نضوب مصادر الزيت والغاز. ولكن هل يمكن بناء المصانع والمعدات بدون قاعدة أساسية تعتمد على الوقود الحفرى منخفض التكاليف.

حاليا يوجد نقاش حول تطوير مولد منزلى يعمل بخلية الوقود (Fuel Cell). حيث ستكون الوحدة فى حجم الثلاجة المنزلية والتى يمكنها توليد التيار المنزلى اللازم بواسطة خلايا الوقود، حيث سيترتب على ذلك اختفاء خطوط الطاقة لنقل وتوزيع الكهرباء، أى أنه على المدى الطويل يمكن أن يكون توليد وتوزيع الطاقة محليا.

## ٥ - الطاقة الشمسية وطاقة الرياح :

الطاقة الشمسية تعنى تقنيات التجهيزات التى تمكن من اقتناص أشعة الشمس فى شكل حرارة أو فى شكل ضوء، أو التحويل الفعلى والسريع لإشعاع الشمس إلى

كهرباء مفيدة بواسطة الخلايا الضوئية (Photoelectric). كذلك فإن الطاقة الشمسية هى الأصل فى تكوين الوقود الحفرى حيث إنها تمثل الطاقة المختزنة فى المركبات الهدروكربونية والأخشاب والمخلفات الحيوانية (السماد الطبيعى) والتى يرجع وجودها إلى الطاقة الشمسية.

الطاقة الشمسية الفعلية كبيرة جدا، ولكن لا توجد ثقة نحو استمرار طاقة كهرباء شمسية بدون الاستعانة بالوقود الحفرى. فلعمل مصفوفات الخلية الفولتية من السيليكون والبلاستيك والمعدن وتصنيع بطاريات التخزين من البلاستيك والرصاص كذلك لتجهيزات التحكم فى الشحنة والمحولات وتجهيزات تنظيم تخزين وسريان التيار - كل هذه تحتاج إلى توفير البترول والغاز (أو الفحم). كذلك فإن السيارات الكهربية سوف يزداد سعرها بنسبة حوالى ٣٠٪ عن التكلفة الحالية.

توجد استخدامات للطاقة الشمسية فى مجال تسخين المياه، طهى الطعام، تكييف الهواء (التسخين والتبريد) المنزلى. وكذلك استخدام برك الملح الشمسية (Solar Ponds) فى تسخين المياه وإعذابها.

لقد أنفقت الدول الأوروبية استثمارات كبيرة فى مزارع الرياح. لقد أصبحت الدانمرك تحصل على ١٨٪ من الكهرباء من الرياح فى عام ٢٠٠٣. وأنتجت ألمانيا ما يزيد عن ١٠٠٠٠ ميجاوات، وأسبانيا ٣٠٠٠ ميجاوات. ولكن لتصنيع المعدات وإقامتها يلزم استخدام طاقة الوقود الحفرى.

طاقة الرياح والطاقة الشمسية يمكن أن يستفاد بهما فى توليد الطاقة وفى أعمال مفيدة على المستوى الصغير والمتوسط بدون التسابق فى استخدام نظم شديدة التعقيد وعلى مستويات كبيرة. مصادر الطاقة المتجددة لا تتوافق مع هذه النظم وهذه المستويات. الطاقة الجديدة سوف لا تحل محل الغاز والزيت فى تشغيل هذه النظم والتى سوف تلغى عندئذ. حيث يعتبر عندئذ استخدام الطاقة الشمسية وطاقة الرياح نوعا من الخداع.

كذلك فإن الطاقة الشمسية مسببة للتلوث البصرى، والهوائية مسببة للتلوث السمعى.

### ٦ - الزيت المخلق : (Synthetic Oil)

يمكن تصنيع الزيت والجازولين من الفحم؛ ذلك لأن الفحم هدروكربون صلب من نفس المجموعة العضوية التى تكون منها زيت البترول. استطاع الألمان (النازى) عمل الكثير من الفحم أثناء الحرب العالمية الثانية، لقد قاموا بذلك بسبب عدم امتلاكهم مصادر لزيت البترول وبسبب ما لديهم من وفرة فى الفحم. لقد بدأت عملية الزيت المخلق عام ١٩٣٣ (بواسطة فريديرك بيرجواس، فارين)، حيث تتضمن إضافة الهدروجين إلى الفحم عند ضغط مرتفع وحرارة مرتفعة فى وجود عامل وسيط (Cat-alyst)، وكانت هذه العملية مكلفة ومستهلكة للطاقة. وفى عام ١٩٣٩ استطاع الألمان بناء ١٤ مصنع هدرجة لتصنيع الجازولين المخلق وكذلك وقود الطائرات تمهيدا لغزو بولندا. ولكن توجه نظر هتلر نحو اقتناص حقول البترول حول باكو فى روسيا حيث نقض اتفاقياته مع ستالين التى وقعت عام ١٩٣٩ وذلك فى عام ١٩٤١ وقد هزم هتلر فى ستالينتجراد .

عقب أزمة البترول التى سببتها أوبك عام ١٩٧٣ طرأت فكرة الوقود المخلق فى ذاكرة الرئيس الأمريكى نيكسون، ولكن لم يتم بناء المصانع اللازمة لإنتاج الوقود السائل من الفحم. وقد اقترح جيرالد فورد بناء ٢٠ مصنعا لإنتاج مليون برميل فى اليوم، ولكن لم تتم موافقة الكونجرس على هذا الاقتراح، وإن كان هذا الاقتراح يمكن أن يلبى احتياجات أمريكا والتى تصل إلى ٢٠ مليون برميل فى اليوم من الزيت. فى عهد كارتر الذى دخل البيت الأبيض فى أعقاب أزمة الأوبك عام ١٩٧٣، حيث واجه أزمة بترولية ثانية وهى الثورة الإيرانية ونفى شاه إيران، ولاحظ أن الأزمة البترولية سببها العرب (وبالتبادل مع شركات الزيت المستغلة) . حاول كارتر إقناع هؤلاء أن هذا المأزق المكافئ الواقعى له وللخروج منه هو الحرب. وفى عهد ريجان بدأ حل مشكلة أزمة البترول حيث زاد الإنتاج والاكتشافات فى بحر الشمال والنرويج، وكذلك الصادرات الروسية ومن دول غير عربية مثل نيجيريا وفنزويلا. وقد ساعد ذلك على وجود وفرة بترولية فى السوق العالمية حيث هبط سعر برميل البترول لفترة زادت عن عقد من الزمان من عام ١٩٨٦ - ٢٠٠١؛ لذلك كان الرئيس جورج بوش الأب قادرا على تجاهل القضية، إلا أنها بدت من الأمور الهامة التى تمس الأمن القومى الأمريكى؛ وذلك إبان حرب الخليج الأولى التى تلت غزو العراق للكويت، والتى كان

من أحد أسبابها سرقة الكويت لبترول العراق حيث تقوم بالحفر الأفقى خارج حدودها إلى حقول البترول داخل أراضى العراق (وإن كان هذا خطة أمريكية غير معلنة لتوريط العراق تمهيدا لاحتلال منابع البترول فى المنطقة العربية). وفى هذه الأثناء لم يقم بوش بعمل أى شىء لإحياء برنامج الوقود المخلق.

كلينتون خدم خلال ذروة وفرة البترول، حيث كانت حقول بترول بحر الشمال تضخ بأقصى معدل مع استمرار الزيادة فى الإنتاج العالمى، واستمرت أسعار النفط فى الهبوط. وإن كان كلينتون قد عايش بداية الذروة التاريخية للبترول إلا أنه لم يفعل شيئا لإعداد أمريكا لعصور ما بعد الذروة.

جورج بوش الابن كان لسوء حظه على قمة السلطة عند اقتراب الذروة العالمية وبعد أن أصبح سوق النفط متأرجحا. ولكن بوش ونائبه تشينى لكونهما أصلا من كبار المسئولين فى مجال صناعة البترول، قاما بالتمهيد للسيطرة على بترول الشرق الأوسط وذلك من خلال التحذير من سيطرة الإرهاب الإسلامى السلفى للسيطرة على البترول العربى والذى سيتطلب حربا طويلة للسيطرة على الشرق الأوسط وتأمينه. فى بداية عام ٢٠٠٥ هدأ الاتجاه نحو الوقود المخلق الذى استمر الثلاثين عاماً الماضية.

ما يقال عن صناعة الوقود السائل من الفحم حيث تدعى أن سعر الزيت المصنع قد انخفض من حوالى ٥٠ دولارا للبرميل فى عام ١٩٧٣ إلى حوالى ٣٠ دولارا للبرميل فى عام ٢٠٠٣ . ولكن إنتاج الزيت المخلق من الفحم لن يكون بديلا عن الغاز الطبيعى لاستخداماته الخاصة ولرخص سعره. مثل الهدروجين الزيت المخلق يمكن تصنيعه ولكنه لا يرقى إلى تحقيق الطموحات الأمريكية. الاستخدام المقبول للزيت المخلق هو فى الأغراض العسكرية.

إن هناك احتمالا كبيرا لاستمرار الحرب الحالية للسيطرة على الشرق الأوسط لمدة طويلة، وكذلك احتمال انتشارها إلى مناطق أخرى منتجة لزيت البترول مثل السودان بهدف السيطرة على منابع البترول. وبخلاف ذلك فإن الولايات المتحدة سوف تجد نفسها فى ظروف قاسية مثل التى حدثت لألمانيا منذ سبعة عقود ماضية. وقبل حدوث النقص الخطير فى الغاز الذى سوف يضعف قوة أمريكا على مواصلة الحرب للبترول، أو لإعاقة نشر الديمقراطية، أو مقاومة الإرهاب، أو لأى دعاوى

أخرى. لقد أخذت أمريكا المبادأة للسيطرة على البترول العربى وذلك خوفا من سيطرة الإسلاميين على الحكم فى هذه الدول ومساومتها على ضخ البترول نظير حل مشاكل المنطقة.

## ٧ - التحلل الحرارى (تفكك البلمرات بالحرارة)

**Thermal Depolymerization**

كانت مفاجأة كبيرة فى ربيع ٢٠٠٣، عندما نشرت مجلة المكتشف (Discoverer) بنشر مقال بعنوان (Any Thing Into Oil). وذلك بالنسبة لشركة لها اسم فى مجال التقنيات العالمية ولها مصنع فى ميسورى والتى أعلنت أنها ستستخدم أى مادة ذات أساس كربونى يمكن تصورها بما فيها الإطارات الكهنة، وزجاجات البلاستيك، والحاسبات القديمة، والقمامة المنزلية، وعيدان القمح، والمخلفات الطبية، ومخلفات صناعة البترول، حتى الأسلحة البيولوجية مثل جراثيم الأنثراكس ... إلخ. وتحويل تلك المواد إلى منتجات ذات قيمة من زيت البترول: غاز ذو الاحتراق النظيف، ومواد معدنية مفيدة. وهذا ما يسمى بالتحلل الحرارى أو تكسير البلمرات، بالحرارة. ولقد كان ذلك تقنية عالية للتقليد المعجل للطريقة التى سارت فيها الطبيعة فى تكوين زيت البترول الجيولوجى من المخلفات الحفرية العضوية. وقد ضرب مثال وإن كان غير لائق، وهو أن رجلا وزنه ١٧٥ رطلا عند تعرضه لهذه العملية سوف ينتج حوالى ٣٨ رطلا من زيت البترول، سبعة أرطال من الغاز، وسبعة أرطال من الأملاح المعدنية، هذا بالإضافة إلى ١٢٣ رطلا من المياه المعقمة. وقد رصدت الحكومة الفيدرالية ١٢ مليون دولار كمنحة نقدية للأبحاث فى هذا المشروع.

المعدات المستخدمة تشبه تلك المستخدمة فى معدات تكرير البترول ولكن على مستوى أصغر. لقد ادعت الشركة أن كفاءة هذه العملية هى ٨٥٪، يعنى أنه لكل ١٠٠ وحدة حرارية منتجة من المخلفات فإنه يستهلك فقط ١٥ وحدة حرارية لسير العملية. الماء فى الردعة الرطبة (Slurry) كان يساعد فى المرحلة الأولى للعملية، حيث الطهى الأولى عند ٥٠٠ درجة فهرنهيت، وعند ضغط ٦٠٠ رطل على البوصة المربعة حيث تتحول الدهون والبروتينات والكربوهدريت إلى حامض الكاربوكسيليك. وعند الهبوط السريع للضغط فإنه يتم التخلص من ٩٠٪ من الماء، وهذا ساعد على التخلص من الماء بالتسخين والتبريد. المرحلة الثانية للعملية هى تكسير سلاسل

الهدروكربونات والتى عندئذ تتحول إلى سلاسل الزيت الخفيف. والمرحلة الثالثة تتم كما فى حالة التقطير التقليدى لزيت البترول - حيث يتم فصل الهدروكربونات طبقا للوزن الجزيئى إلى الكيروسين، الجازولين، النافتا ... إلخ. وقد استخدم الغاز القابل للاشتعال كوقود للعملية.

الشحنة الجافة مثل البلاستيك من مواد البناء وكذلك الأدوات التى يتم طحنها يتم خلطها بالماء لإعدادها للتصنيع لإنتاج كيماويات مفيدة مثل حامض الهدروكلوريك، وكذلك وقود الهدروكربونات. والمواد المختلفة تتطلب طرقا مختلفة للتصنيع وكذلك لزمن الطهى. لقد ادعى المتحدثون باسم الشركة أنه يمكن إنتاج الزيت بهذه الطريقة بسعر ١٠ دولارات للبرميل بحلول عام ٢٠٠٣ . ولكن وإن كان هذا يبدو حسنا، ولكن تحلل البلمرات هذا يأخذ عناصره من الطاقة الكامنة الضخمة فى المواد وتحويلها ثانيا إلى الزيت مع الفقد الافتراضى لنسبة ١٥ ٪ فقط من الطاقة. الحقيقة هى أن المخلفات العضوية الكربونية الزراعية والحيوانية ووفرتها يرجع إلى وفرة الزيت والغاز حيث التوسع فى الزراعة وفى تنمية الثروة الحيوانية وفى صناعة الأسمدة لزيادة حاصلات الحبوب فى الميكنة الزراعية وعمليات النقل والتجميد والتسويق، وبدون الوقود الحفرى لا تتوفر المادة الأولية لهذا المقترح بل سنعود الى الماضى حيث المزارع الصغيرة وعلى أساس محلى. وكمية المخلفات عندئذ سوف لا تستحق استخدام وحدات التقطير لازالة البلمرة (وإذا استدعى الأمر محاولة جمع المخلفات من مزارع كثيرة ومنتشرة وإرسالها إلى وحدة تحلل مركزية فإن الجازولين ووقود الديزل المستخدم فى الجمع يمكن أن يلغى الزيت المكتسب من جمع المخلفات).

صورة مشابهه للتحلل متعلقة بالمخلفات فى عملية التحلل للإطارات القديمة، وزجاجات البلاستيك، والمخلفات المنزلية ... إلخ. كل تلك الأشياء نظرا لكونها من وفرة الزيت، ومع عدم وفرة الزيت سوف لا يكون هناك مثل تلك المخلفات.

إزالة البلمرة بالتحلل الحرارى يمكن أن تكون طريقة جيدة وممتازة للتعامل مع القمامة والمخلفات فى الظروف العادية. ولكن الظروف العادية لها سقف قصير، فعند نقطة ما سوف يترنح إنتاج الوقود الحفرى، عند حدوث ذلك فإنه لا يمكن استعادة الوقود الكافى من المخلفات، والقمامة؛ لاستمرار هذا النمط من الحياة لكمية كبيرة من الوقت.

حتى فى حالة تحويل كل القمامة فى الولايات المتحدة فى الظروف العادية إلى الزيت فإنها سوف لا تغطى حتى ٥ ٪ من الاستهلاك اليومى لزيت البترول، والذى يتطلب خفض استهلاك الطاقة بنسبة ٩٥ ٪. حتى فى حالة خفض استهلاك الطاقة فإننا سوف لا ننتج كمية القمامة اللازمة لإنتاج حتى تلك الـ ٥ ٪ .

**٨ – الكتلة الحيوية (Biomass)**

يجب نسيان الكتلة الحيوية. فالكتلة الحيوية هى فقط شكل آخر للتحلل العضوى، حيث يكون تاريخ استخدام المخلفات المنتجة للإيثانول (الكحول المستخرج من النباتات) كإضافة للجازولين. ولكن هذه المخلفات هى نتيجة وفرة الوقود الحفرى الذى ساعد على صناعة الأسمدة من الغاز، وكذلك عمليات الحصاد والنقل. كمية البترول والغاز اللازمة للانتاج هذه المواد الأولية ستكون أكثر من الفائدة التى ستعود باستخدام هذا الوقود غير الحفرى. والتخلص من هذه المخلفات بالتحلل اللاهوائى يمكن من إنتاج غاز الميثان كوقود ولكن عند تحرره يعمل على دفء الأرض.

**٩ – هيدريت الميثان : (Methane Hydrate)**

توجد كمية ضخمة من الميثان، والغاز الطبيعى تساوى ما لا يقل عن ضعف كمية الوقود الحفرى المعروف على الأرض، ويعتقد أنها محتجرة فى رواسب البحار والمحيطات فى شكل غاز مائى (Gas Hydrate). الغاز المائى نوع من الثلج مكون من جزيئات الميثان، كل جزىء محاط بغلاف من جزيئات الماء. ويكون الغاز المائى هذا مستقرا (Stable) فقط عند درجة الحرارة المنخفضة والضغوط العالية جداً طبقا لعمق المياه عند أقل من ألف قدم. هذا الغاز المائى أو هيدريت الميثان يمثل مصدراً للطاقة، ولاستخراجه يلزم الحذر والحرص. ولكن هيدريت الميثان من الصعب جداً استخراجه بسبب التكلفة العالية، وأن ذلك يتطلب طاقة أكبر من الطاقة المنتجة عند استخراجه، أى أ نه أساسا غير اقتصادى.

وكذلك فإن مادة هيدريت الميثان مادة شديدة الخطورة. ومحاولات استخراجها من تحت الماء أدت إلى حدوث انفجارات، بما فيها تدمير وتلف أرصفة السفن وأرصفة الحفارات. الخواص الطبيعية لمادة هيدريت الميثان هى أن أى محاولة لاستعادتها تعمل على إحداث عدم ثبات (Instability) للمادة، مسببة التفكك والتحلل للمادة إلى كل من الميثان والماء. الغاز عند تحرره يكون شديد الاشتعال، حيث يرتفع

نحو سطح الماء. أعمال الحفر خلال مناطق الهيدريت يمكن أن تسبب عدم ثبات للتربة الحاملة لأساسات الأرصفة البحرية. وعدم الثبات أو الاستقرار وحدوث الاضطراب لأرضية البحر أو المحيط يمكن أن تسبب الهبوط المفاجئ لسطح التربة أو حدوث تشققات والذى يمكن أن تشكل خطورة لأطقم العمل والبيئة. بالإضافة إلى ما يسببه من أخطار للإنسان عند محاولة استخراجه، فإن الميثان المتحرر إلى الجو يكون له تأثير يزيد عن عشرة أضعاف غاز الصوبة (الاحتباس الحرارى) عند مقارنته بثانى أكسيد الكربون. عند الانطلاق بأى كمية فإنه يعجل المشكلة نحو تغير المناخ. لذلك فإن محاولة استعادة الميثان هيدريت وينتج عنها انطلاق الميثان فى الجو يزيد عن الغاز الذى يتم استخراجه من العملية.

### ١٠ - الطاقة النووية (Nuclear Energy)

إن ما يسمى بالطاقة البديلة التى تم تناولها غير قابل للتصديق؛ ذلك لأنه على المدى الطويل وبدون مساعدة زيت البترول فإن البديل الوحيد المتبقى هو الطاقة النووية.

فى الولايات المتحدة يتم إنتاج ٢٠٪ من الطاقة الكهربية فى محطات المفاعلات النووية، وفى فرنسا ما يزيد عن ٧٠٪ (الباقى من الطاقة المائية). ورغم حقيقة أن استخدام الطاقة النووية أصبح مؤمنا، إلا أنه ملئ بالمشاكل السياسية الكبيرة وإن كان يمكن القول أنه المتاح استخدامه فى الولايات المتحدة. ولاستمرار الحضارة فإنه يجب استمرار الإضاءة، والطريقة الوحيدة لذلك فى منتصف القرن الواحد والعشرين ستكون باستخدام المفاعلات النووية لتوليد الكهرباء. وإن كانت لا توجد قناعة كافية نحو فعل ذلك لمدة طويلة بدون وقود أساسه من المصدر الأحفورى وذلك للمعاونة فى الإنشاء والتصنيع لاستخراج وتصنيع الأنشطة الضرورية لبناء وخدمة المفاعلات النووية.

الطاقة المنتجة من الانشطار النووى أكثر من تلك المنتجة من استخدامات الطاقة الشمسية، وطاقة الرياح، والكتلة الحيوية، وكل البدائل الأخرى للطاقة؛ لذلك فإن استثمار الوقود الأحفورى المتبقى فى الطاقة النووية سيمكن من العمل المنظم والأكثر استدامة. ويمكن اللجوء إلى الفحم لخدمة المفاعلات النووية أو ربما باستخدام الزيت المخلق من الفحم وذلك لمدة ثلاثين عاماً من الآن.

إن مقارنة الطاقة النووية بطاقة الفحم واضحة وبسيطة، ذرة واحدة من اليورانيوم القابل للانشطار تنتج عشرة ملايين ضعف الطاقة المنتجة من ذرة كربون واحدة. اليورانيوم ينتج ٢ مليون ضعف الطاقة المنتجة من وحدة الكتلة لزيت البترول.

اليورانيوم الطبيعي الموجود فى الولايات المتحدة يمكن استخدامه فى توليد الكهرباء طبقا للتقنيات المتاحة حاليا لمدة حوالى مائة عام.

يتكون خام اليورانيوم الطبيعى من اثنين من النظائر، فهو يحتوى على اليورانيوم ٢٣٨ بنسبة ٩٩,٣ ٪ ، واليورانيوم ٢٣٥ بنسبة ٠,٧ ٪ . اليورانيوم ٢٣٥ هو الأكثر قابلية للانشطار. معظم محطات الطاقة النووية الحالية تستخدم اليورانيوم المخصب الذى فيه يزاد تركيز اليورانيوم - ٢٣٥ من ٠,٧ ٪ إلى حوالى ٤-٥ ٪ .

اليورانيوم يبلغ سعر الكيلو (٢,٢ رطل) حوالى ٣٠ دولارا.

يوجد فى الولايات المتحدة ١٠٩ محطة مفاعل نووى، حوالى ٤٠٠ مفاعل فى دول العالم، أى أن أمريكا لديها حوالى ٢٥ ٪ من المفاعلات على مستوى العالم. المفاعلات تعمل بإنتاج الحرارة بالانشطار النووى المحكم - أى ، من النيوترونات المستحثة (Induced) بواسطة الكتلة الحرجة (Critical Mass) لذرات اليورانيوم التى تقذف النويات المجاورة وانشطار نيوترونات أكثر والتى تقوم بنفس العمل. حيث إن النيوترونات تدور منطلقة، فإن محتوى الذرات يتغير والعناصر الأصلية تتحول إلى عناصر أخرى. هذه العملية تنتج كميات ضخمة من الطاقة. تستخدم الحرارة لإنتاج البخار الذى يدير التربينات البخارية المستخدمة لتوليد الكهرباء؛ لذلك، فإنه بعيدا عن قلب المفاعل تكون العملية ليست مختلفة كثيرا عن إنتاج الكهرباء بالطرق الأخرى لإنتاج البخار. عملية الانشطار النووى غير منتجة لأى غازات مسببة لتلوث الهواء، ولكن الأنشطة الأخرى الضرورية لإنشاء وصيانة المفاعل هى التى تنتج كمية من الغازات الملوثة.

مخلفات المفاعل نفسه تحتوى على مئات من المواد السامة، المشعة التى لم تكن موجودة على الأرض قبل حدوث الانشطار النووى الصناعى. قضبان الوقود (Fuel Rods) فى معظم المفاعلات العادية تحتوى على حبيبات من اليورانيوم المخصب. يتم ضبط الكتلة الحرجة (Critical Mass) للمادة الانشطارية بواسطة رفع وخفض تلك القضبان داخل قلب المفاعل. تقريبا كل عامين (للتبسيط) تصبح قضبان

الوقود فى المفاعل «من المخلفات» حيث يلزم تغييرها. هذه العملية يجب عملها بحرص وعادة يمكن أن تستغرق شهورا، ذلك رغم أن الطرق الحديثة تم تطويرها حيث ساعدت على اختصار الوقت، الذى وصل فى بعض الحالات إلى بضعة أسابيع. قضبان الوقود العادم تظل شديدة الخطورة الإشعاعية والحرارية لسخونتها. المشكلة الحادة لتشغيل محطات الطاقة النووية هى التخلص من الوقود العادم والذى لا يجوز أن يكون قريبا من أى إنسان.

كان هناك تخوف من وصول المواد المشعة إلى المياه الجوفية وانتشارها فى كل الخزانات الجوفية. لذلك ، فإن معظم قضبان الوقود المستنفذ فى مفاعلات الولايات المتحدة تم تشوينها فى موقع المفاعلات فى أوعية تخزين تشبه حمامات السباحة، حيث تصبح المادة أقل إشعاعية باستمرار مع تحلل النظائر الأقل استقرارا (More Ustable) ، وكذلك إنتاج حرارة أقل ثم أقل. طريقة التشوين فى الموقع هذه اعتبرت تخزينا مؤقتا ولكنها أصبحت ضمن برنامج التخلص من المخلفات النووية.

كذلك يمكن إعادة تصنيع أعمدة الوقود المستنفدة بالطريقة التى يمكن بها استعادة ما يكفى من المادة الانشطارية من شحنة واحدة لتشغيل مفاعل لمدة عام إضافى. فى النهاية فإنه حدث تراكم للمخلفات فى كل الولايات المتحدة. المفاعل المتوسط ينتج حوالى ١,٥ طن من المخلفات فى العام. عند الاحتواء فى وعاء فإنها تقدر بحوالى خمسة ياردات مكعبة من المخلفات.

نظراً لأن أول محطة نووية تجارية بدأت فى إنتاج الكهرباء فى عام ١٩٥٧ فإن إجمالى كمية مخلفات الوقود النووى المشع وصل إلى ٩٠٠ طن. فى يوليو ٢٠٠٢ وقع الرئيس الأمريكى جورج بوش قرار ٨٧ ، بما يسمح لجهاز الطاقة الأمريكى باتخاذ الخطوة الثانية فى إعداد مستودع آمن عند جبل يوكا (Yucca Mountain). وقد أنهى ذلك الأزمة السياسية الطويلة، رغم أنها لم تحقق الأمان الكلى، حيث يلزم ٥٠٠ عام لمخزون المخلفات من المفاعل النووى ليتحلل ويعود إلى ما كان عليه من الخطورة مثل خام اليورانيوم الطبيعى.

فى الواقع يوجد هناك ما يمكن وصفه بالأمان النسبى (Relative Safety) . ولكن يجب ملاحظة أنه فقدت أرواح كثيرة فى صناعة الفحم تزيد عن تلك صناعة الطاقة النووية فى الخمس عقود الماضية.

في الأربعين عاما الماضية لم يحدث شيء مسبب للهلاك والدمار بسبب استخدام المفاعلات النووية المنتجة للطاقة في المجال السلمي في الولايات المتحدة، أو في أوروبا الغربية أو اليابان أو كوريا الجنوبية. وحادثة مفاعل تشيرنوبل في الاتحاد السوفيتي السابق التي حدثت في ٢٦ أبريل عام ١٩٨٦ كانت أمرا آخر. فقد مات ٣١ فردا كنتيجة مباشرة للانفجار والحريق الذي تبعه. أكبر تقدير لوفيات السرطان نتيجة حادث تشيرنوبل بلغ عدة آلاف قليلة، مع عدد غير معلوم لحالات السرطان للأفراد الذي كانوا أطفالا في وقت الانفجار. حوالي عشرين ميلا مربعا من الأرض أصبحت غير مأهولة لمدة طويلة. وبالمقارنة لا توجد حالات وفيات في حادثة ١٩٧٩ في جزر الحزام البحري (Three Mile Island) ، بنسلفانيا – الغازات المشعة تم تصريفها (Vented) ، ولكن لا يوجد دليل مقبول في أن هذا تسبب في أضرار للبشر.

مفاعل تشيرنوبل تم إنشاؤه مع عدم توفر الأمان الكافي. لقد تم تصميمه بروح الخبرة السوفيتية لكل من إنتاج الطاقة الكهربية وكذلك إنتاج مادة تصنيع القنبلة في نفس الوقت، المفاعل لم يكن له غلاف الاحتواء الخارجي الخرساني، لقد كان مصمما بطريقة أنه في حالة زيادة حرارة المفاعل فإن معدل التفاعل يزداد أتوماتيكيا أكثر من خفضه. لقد كان باختصار هذا الحادث منتظرا حدوثه.

تم بناء ١٦ مفاعلا مثل ذلك في الاتحاد السوفيتي السابق، وكثير منها مازال يعمل حتى الآن. المفاعلات في الولايات المتحدة والغرب بما فيها اليابان وكوريا الجنوبية مصممة بطريقة مختلفة تماماً.

لا توجد محطات طاقة نووية تحت الإنشاء منذ عام ١٩٩٠ حتى الآن (عام ٢٠٠٤) . بعد حادث جزر الحزام البحري وحادث تشيرنوبل فإن الطاقة النووية أصبحت مادة تسمم سياسي، حيث كان لذروة انخفاض أسعار النفط التي بدأت منذ عام ١٩٨٦ حتى حادث ١١ سبتمبر حيث كان هذا هو السبب في التوقف عن التفكير في الطاقة النووية بالنسبة للشعب الأمريكي وقادته. ولكن هذا الموقف عرضة للتغير الآن خاصة لأن الولايات المتحدة بدأت معاناة الغاز الطبيعي القادمة والتي سوف تؤثر بشدة على توليد الطاقة الكهربية وكذلك فإن أسعار زيت البترول آخذة في الارتفاع.

إن استخدام ما يسمى بالمفاعل المولد (Breeder Reactor) يمكن أن يطيل سقف الكهرباء المنتجة من الطاقة النووية نحو المستقبل. مفاعلات التوليد تستخدم نظير اليورانيوم ٢٣٨ المتاح بشكل كبير، مع كميات صغيرة من اليورانيوم ٢٣٥ الانشطارى، لإنتاج نظير قابل للانشطار من البلوتونيوم (Pu - 239). ولكن البلوتونيوم شديد الخطورة لسببين وهما كونه سما إشعاعيا مستمرا وكذلك كمادة لصنع القنبلة. لذلك فإن متطلبات الأمن القومى لعمل مفاعل التوليد يمكن أن تتخطى الوسائل التنظيمية للمجتمع الذى سنصير إليه مستقبلا ونعنى به انخفاض مصادر التمويل. هذا يمكن أن يؤدى إلى مقولة أن الاستقرار الاجتماعى هو نتيجة مباشرة لما يحققه لنا زيت البترول الوفير والرخيص، وفى حالة عدم وجود هذا الزيت، لا يمكننا فرضية التنظيم الاجتماعى المعقد اللازم لاستخدام الطاقة النووية بأمان. فى أى الحالات فقد قامت الولايات المتحدة بإيقاف مفاعل التوليد الوحيد التجريبى (Proto Type) وليس لديها برنامج تطوير. ودول أخرى تفعل نفس الشىء وإن كان العمل استمر فى اليابان وروسيا ولكنه توقف فى الولايات المتحدة وفرنسا.

حتى أنه منذ إنتاج القنبلة الهدروجينية، حيث تعلقت الآمال نحو تطوير عملية الاندماج النووى التجارية التى يمكن استخدامها فى توليد الطاقة فى الاندماج. الهدف هو إندماج نويات الذرة وليس انشطارها، تحديدا، اندماج ذرتين من الهيدروجين معًا لتكوين جزىء الهيليوم. وهذه هى نفس العملية التى تنتج طاقة الشمس، حيث إنتاج كميات مهولة من الطاقة.

لقد استطاع الإنسان استخدام عملية الاندماج النووى هذه فى تصنيع القنبلة الهدروجينية. ولكن حتى الآن لم يتم تسخير هذه الطاقة المهولة بالطريقة التى يمكن التحكم فيها واستغلالها، كما أنه ليس من المتوقع كما كان الحال منذ ٣٠ عامًا مضت عندما كان الاندماج النووى هو أحد مصادر الطاقة الواحدة ما بعد البترول.

الانشطار النووى وإن كان مفيدا فى إنتاج الكهرباء إلا أن معظم احتياجات الطاقة للأمريكيين هى الأمور التى لا تقوم الكهرباء بخدمتها مطلقا. فمثلا، لا يمكن طيران الطائرة بالطاقة الكهربية من المفاعلات النووية. كذلك شاحنات النقل التى تسير بالزيت لا تستخدم الكهرباء.

فى نظام الحياة الأمريكية يبلغ إجمالى الطاقة الكهربية المستخدمة حوالى ٣٦٪ فى شكل طاقة كهربية مولدة بطريقة أو بأخرى (فحم، غاز طبيعى، مائية، نووية)، وظلت هذه النسبة ثابتة لعقود. باقى الاحتياجات من الطاقة يأتى من حرق الهدروكربونات؛ لذلك فإنه مع تقدم القرن الواحد والعشرين فإن كمية الكهرباء من المحطات النووية يحتمل أن تزداد ولكنها ليست بالضرورة قادرةعلى تعويض الفقد الناتج عن عدم وفرة الوقود الأحفورى.

# الفصل الخامس

# صادرات الطاقة من الشرق الأوسط طبقا لتقديرات إدارة المعلومات للطاقة الأمريكية (EIA)

## ١- مقدمة :

أ - منطقة الشرق الأوسط هي التي تتحكم في صادرات الطاقة في هذه الأيام، وغالبا سوف يستمر ذلك لعقود قادمة. ذلك رغم فرضية أن هناك تقدما في ترشيد استخدام الطاقة وفي تطوير تقنيات الطاقة المتجددة، والزيادة في توفير الطاقة من الغاز، والطاقة النووية، والطاقة المتجددة وأحيانا من الفحم.

ولكن فإن التقديرات في زيادة معدل الاستهلاك العالمي من الغاز الطبيعي ليكون (بنسبة ١,٦ - ٢,٧ ٪) ، الفحم (١ - ٢,١ ٪) ، الطاقة النووية (٠,٤ - ٠,٦ ٪) ، والطاقة المتجددة (١,٤ - ٢,٤ ٪) ، ويتوقع أن تصل الزيادة السنوية في استخدام زيت البترول بنسبة ١,٢ - ٢,٦ ٪ وبمتوسط ١,٦ ٪ .

ب- وبعد أن فكرت الولايات المتحدة في خفض اعتمادها على الزيت من الخارج والذي بدأ في السبعينيات والذي يمكن أن يأتي من احتياطيات الزيت في قاع البحار من خارج منطقة الشرق الأوسط وشمال أفريقيا أو من مصادر أخرى للطاقة مثل خلايا الوقود، والزيت الطفلي (Shale Oil)، والطاقة النووية، والاندماج النووي، والطاقة الحرارية من باطن الأرض والكتلة الحيوية، والطاقة الشمسية وطاقة الرياح ... إلخ. إلا أنه بعد ٣٠ عاماً من الجهد لإيجاد بديل عن مصادر الطاقة من الشرق الأوسط وشمال أفريقيا، وزيادة تقديرات نسبة احتياطي البترول العالمي بها، فقد زاد الاعتماد العالمي على صادراتها.

جـ- قدرت احتياطيات البترول أنه لدى العالم في عام ١٩٩٨ حوالي ١٠٥٢,٩ مليار برميل، وأن لدى الشرق الأوسط وشمال أفريقيا ٧١٦,٢ أي بنسبة ٦٨ ٪. وفي

نهاية عام ٢٠٠٢ كان التقدير ١٠٤٧,٧ منها ٧٢٨,٣ فى الشرق الأوسط وشمال أفريقيا أى بنسبة ٧٠٪ .

د - بالنسبة للاستهلاك الحقيقى لزيت البترول فقد قدر أن الاستهلاك العالمى سوف يرتفع من ٧٦,٩ مليون برميل فى اليوم فى عام ٢٠٠٠ إلى ٨١,١ مليون برميل فى اليوم فى عام ٢٠٠٥ . ومن ٨٩,٧ مليون برميل فى اليوم فى عام ٢٠١٠ إلى ٩٨,٨ مليون برميل فى اليوم فى عام ٢٠١٥ ، من ١٠٨,٢ مليون برميل فى اليوم فى عام ٢٠٢٠ إلى ١١٨,٨ مليون برميل فى اليوم فى عام ٢٠٢٥ . حيث يكون متوسط الزيادة السنوى هو ١,٨ ٪ إلا أن الزيادة الإجمالية هى ٤١,٩ مليون برميل فى اليوم ما بين ٢٠٠٠ ، ٢٠٢٥ ، وأن نسبة الزيادة التراكمية هى ٥٤٪ .

هـ- لقد كانت منطقة الشرق الأوسط وشمال أفريقيا وستظل العامل الأساسى فى توفير الطلب العالمى لزيت البترول. وما تتميز به واردات البترول من الشرق الأوسط هو لكون تكلفة الإنتاج منخفضة، ولديها البنية التحتية للتصدير بكميات كبيرة وبأسعار رخيصة، كما أن الطلب المحلى على استهلاك الزيت فى منطقة الشرق الأوسط وشمال أفريقيا منخفض مقارنة بالإمكانيات الكلية للإنتاج.

### ٢ - تقديرات استهلاك العالم من الطاقة ما بين ٢٠٠٠ حتى ٢٠٣٠

جدول (١/٥)

| الوقود | عام ٢٠٠٠ | عام ٢٠٣٠ |
|---|---|---|
| | النسبة المئوية | |
| زيت البترول | ٣٩٪ | ٣٨٪ |
| الفحم | ٢٦٪ | ٢٤٪ |
| الغاز | ٢٣٪ | ٢٨٪ |
| طاقة نووية | ٧٪ | ٥٪ |
| طاقة مائية | ٢٪ | ٢٪ |
| طاقة جديدة | ٣٪ | ٣٪ |

مقدار متوسط الزيادة السنوية في الاستهلاك العالمي للطاقة طبقا لنوع

الوقود بالمليون طن لمكافئ الزيت : جدول (٥/٢)

| | الزيت | غاز | نووى | فحم | مائى | متجدد آخر | اجمالى |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ١٩٧١ - ٢٠٠٠ | ٢,١ | ٣ | ١١,٥ | ١,٧ | ٢,٧ | ٤,١ | ٢,١ |
| ٢٠٠٠ - ٢٠٣٠ | ١,٧ | ٢,٤ | ٠,٥ | ١,٤ | ١,٦ | ٣,٣ | ١,٧ |

## ٣ - مقدار احتياطى الزيت فى الشرق الأوسط وشمال أفريقيا.

بعض شركات البترول العالمية تقدر أن الشرق الأوسط لديه ٦٤,٤ ٪ من إجمالى الاحتياطى العالمى (١٠٤٧ مليار برميل) أو ٦٩,٦ ٪ من الاحتياطى العالمى فى حالة إضافة دول شمال أفريقيا: مصر، الجزائر، ليبيا وتونس. كذلك فإن لدى دول الخليج واليمن ٦٥,٢ ٪ من الاحتياطى العالمى.

جدول (٥/٣) : احتياطى البترول من الشرق الأوسط مقارنة

بالاحتياطى العالمى فى عام ٢٠٠٣

| الدولة | مليار برميل | النسبة المئوية للعالم | النسبة بين الاحتياطى إلى الانتاج |
|---|---|---|---|
| السعودية | ٢٦١,٦ | ٪٢٥ | ٪٨٦ |
| إجمالى الشرق الأوسط | ٦٨٥,٦ | ٪٦٥,٤ | ٪٩٢ |
| إجمالى الشرق الأوسط وشمال أفريقيا | ٧٢٥,٦ | ٪٦٩,٣ | — |
| إجمالى أمريكا الشمالية | ٤٩,٩ | ٪٤,٨ | ١٠,٨ |
| إجمالى أوروبا | ١٩,١ | ٪١,٩ | ٧,٧ |
| إجمالى أمريكا اللاتينية | ٩٨,٠٠ | ٪٩,٤ | ٤٢ |
| إجمالى الاتحاد السوفيتى | ٦٥,٣ | ٦,٤ | ٢٢,٧ |
| إجمالى آسيا | ٣٨,٧ | ٣,٧ | ١٣,٧ |
| إجمالى أفريقيا | ٧٧,٤ | ٧,٤ | ٢٧,٣ |
| إجمالى العالم | ١٠٤٧,٧ | ١٥٥ | ٤٠,٤ |

جدول (٥/٤) : احتياطى البترول فى الشرق الأوسط

والعالم بالمليار برميل.

| الدولة | نهاية ١٩٩٢ | نهاية ٢٠٠٢ | النسبة للاحتياطى العالمى | نسبة الاحتياطيات إلى الإنتاج | الإنتاج فى ٢٠٠٢ |
|---|---|---|---|---|---|
| ١ | ٢ | ٣ | ٤ | ٥ | ٦ |
| البحرين | — | — | — | — | — |
| إيران | ٩٢,٩ | ٨٩,٧ | ٨,٦ | ٧٣,٨ | ٤,٧ |
| العراق | ١٠٠ | ١١٢,٥ | ١٠,٧ | > ١٠٠ | ٢,٨ |
| الكويت | ٩٦,٥ | ٩٦,٥ | ٩,٢ | > ١٠٠ | ٢,٦ |
| عمان | ٤,٥ | ٥,٥ | ٠,٥ | ١٦,٨ | ١,٣ |
| قطر | ٣,٧ | ١٥,٢ | ١,٥ | ٥٧,٦ | ١,٠٠ |
| السعودية | ٢٦٠,٣ | ٢٦١,٨ | ٢٥,٠٠ | ٨٦,٠٠ | ١١,٨ |
| سوريا | ١,٧ | ٢,٥ | ٠,٢ | ١١,٩ | ٠,٨ |
| الإمارات | ٩٨,١ | ٩٧,٨ | ٩,٣ | > ١٠٠ | ٣,٠٠ |
| أخرى | ٠,١ | ٠,١ | < ٠,٠٥ | ٧,٨ | ٠,١ |
| إجمالى الشرق الأوسط | ٦٦١,٨ | ٦٨٥,٦ | ٦٥,٤ | ٩٢,٠٠ | ٢٨,٥ |
| الجزائر | ٩,٢ | ٩,٢ | ٠,٩ | ١٦,٥ | ٢,٠٠ |
| مصر | ٦,٢ | ٣,٧ | ٠,٤ | ١٤,١ | ١,٠٠ |
| ليبيا | ٢٢,٨ | ٢٩,٥ | ٢,٨ | ٥٩,٤ | ١,٨ |
| تونس | ١,٧ | ٠,٧ | < ٠,٠٥ | ١١,٢ | ٠,١ |
| إجمالى الشرق الأوسط وشمال أفريقيا | ٧٠١,٨ | ٧٢٨,٣ | ٦٩,٥ | ١٩٣,٢ | ٣٣,٤ |

| ١ | ٢ | ٣ | ٤ | ٥ | ٦ |
|---|---|---|---|---|---|
| روسيا | ٤٨,٥ | ٦٠,٠٠ | ٥,٧ | ٢١,٧ | ١٠,٧ |
| الولايات المتحدة | ٣٢,١ | ٣٠,٤ | ٢,٩ | ١٠,٨ | ٩,٩ |
| أوروبا / آسيا | ٢٦,٥ | ٣٥,٥ | ٣,٦ | ١٧,٠٠ | ١١,٣ |
| آسيا (باسيفيك) | ٤٤,٦ | ٣٨,٧ | ٣,٧ | ١٣,٧ | ١٠,٧ |
| اجمالى العالم | ١٠٠٦,٧ | ١٠٤٧,٧ | ١٠٠ | ٤٠,٦ | ١٠٠ |

**جدول (٥/٥) : تقديرات الوكالة الدولية للطاقة لاحتياطيات البترول**

**الإنتاج لكل دولة**

| المرتبة | الدولة | احتياطى متبقى مليار برميل | احتياطى غير مكتشف مليار برميل | إجمالى الإنتاج مليار برميل | إنتاج ٢٠٠١ مليون برميل/ى |
|---|---|---|---|---|---|
| ١ | السعودية | ٢٢١ | ١٣٦ | ٧٣ | ٨,٥ |
| ٢ | روسيا | ١٣٧ | ١١٥ | ٩٧ | ٧,٠٠ |
| ٣ | العراق | ٧٨ | ٥١ | ٢٢ | ٢,٤ |
| ٤ | إيران | ٧٦ | ٦٧ | ٣٤ | ٣,٨ |
| ٥ | الإمارات | ٥٩ | ١٠ | ١٦ | ٢,٥ |
| ٦ | الكويت | ٥٥ | ٤ | ٢٦ | ١,٨ |
| ٧ | الولايات المتحدة | ٣٢ | ٨٣ | ١٧١ | ١,٨ |
| ٨ | فنزويلا | ٣٠ | ٢٤ | ٤٦ | ٣,٠٠ |
| ٩ | ليبيا | ٢٥ | ٩ | ١٤ | ١,٤ |
| ١٠ | الصين | ٢٥ | ١٧ | ٢٤ | ٣,٣ |
| ١١ | المكسيك | ٢٢ | ٢٣ | ٢٢ | ٣,٦ |
| ١٢ | نيجيريا | ٢٠ | ٢٥ | ٤ | ٠,٨ |
| ١٣ | كازاخستان | ٢٠ | ٢٥ | ٤ | ٠,٨ |

| المرتبة | الدولة | احتياطى متبقى مليار برميل | احتياطى غير مكتشف مليار برميل | إجمالى الإنتاج مليار برميل | إنتاج ٢٠٠١ مليون برميل/ى |
|---|---|---|---|---|---|
| ١٤ | النرويج | ١٦ | ٢٣ | ٩ | ٣,٤ |
| ١٥ | الجزائر | ١٥ | ١٠ | ١٠ | ١,٥ |
| ١٦ | قطر | ١٥ | ٥ | ٥ | ٠,٨ |
| ١٧ | المملكة المتحدة | ١٣ | ٧ | ١٤ | ٢,٥ |
| ١٨ | أندونيسيا | ١٠ | ١٠ | ١٥ | ١,٤ |
| ١٩ | البرازيل | ٩ | ٥,٥ | ٢ | ١,٤ |
| ٢٠ | المنطقة بين السعودية والكويت | ٨ | صفر | ٥ | ٠,٦ |
| ٢١ | أماكن أخرى | ٧٣ | ٢٢٠ | ٩١ | ١٦,٢ |
| | الإجمالى | ٩٥٩ | ٩٣٩ | ٧٢٨ | ٧٥,٨ |

بالنسبة لدولة العراق فإنه نظراً لأن ما تم استكشافه هو ١٠٪ فقط من موارد العراق التى تقع فى الجزء الشرقى، فإن مختلف التقارير تفيد بأن التكوينات الرئيسية العميقة الحاملة للزيت فى العراق تقع فى منطقة الصحراء الغربية والتى يمكن أن تساهم فى موارد إضافية وأن هذه الموارد لم يتم استكشافها حتى الآن.

## ٤ - الزيادة المتوقعة فى إنتاج الزيت فى منطقة الشرق الأوسط وشمال أفريقيا خلال عام ٢٠٣٠

أ - أعلن مركز معلومات الطاقة أن إجمالى طاقة البترول لدول الأوبك للخليج الفارسى فقط ستزداد من ٢٢,٤ مليون برميل فى اليوم فى عام ٢٠٠١ إلى ٢٤,٥ مليون برميل فى اليوم فى عام ٢٠٠٥ ، من ٢٨,٧ مليون برميل فى اليوم فى عام ٢٠١٠ إلى ٣٣ مليون برميل فى اليوم فى عام ٢٠١٥ ، إلى ٣٨,٩٦ مليون

برميل في اليوم في عام ٢٠٢٠ ، إلى ٤٥,٢ مليون برميل في اليوم في عام ٢٠٢٥ .

ب- ولكن بالنسبة لدول أوبك الخليج حيث طاقة إنتاج الزيت ستزداد من ٢٦,٩ ٪ من إجمالي الإنتاج العالمي في ١٩٩٠ ، إلى ٢٨,٣ ٪ في عام ٢٠٠١ ، ٣٢ ٪ في ٢٠١٥ ، ٣٦,٣ ٪ من إجمالي الإنتاج العالمي في ٢٠٢٥ . وقد تكون هذه الأرقام اعلا إذا شملت دولا أخرى بخلاف دول أوبك الخليج مثل عمان واليمن. هذا بالإضافة إلى أنه بالنسبة للتقدير السنوى للطاقة في عام ٢٠٠٤ فإن إنتاج أوبك من الزيت يقدر أن يصل إلى ٥٦ مليون برميل في اليوم في عام ٢٠٢٥ ، أى بنسبة ٨٠ ٪ ، حيث تزيد عن ٣٠ مليون برميل المنتجة في عام ٢٠٠٢ .

جـ- تقديرات الزيادة في الإنتاج لدول أخرى :

لقد أثار مركز معلومات الطاقة، أن هناك زيادة كبيرة في إنتاج الزيت في شمال أفريقيا. الجزائر وليبيا بقدر زيادة إنتاجهم من ٣,٣ مليون برميل في اليوم في عام ٢٠٠٣ إلى ٣,٤ مليون برميل في اليوم في عام ٢٠٠٥ ، وهذا سوف يعنى أن إجمالي إنتاج الزيت من دول الأوبك وشمال أفريقيا سوف يزداد من ٣٣ ٪ من الإنتاج العالمي في ٢٠٠١ إلى ٣٥,٥ ٪ في عام ٢٠٠٥ ، ٣٩,٨ ٪ في ٢٠١٠ ، ٤٠,١ ٪ في ٢٠١٥ ، ٤٣ ٪ في عام ٢٠٢٥ .

د - كانت روسيا من أهم مصدرى البترول حتى قيام الثورة عام ١٩١٧ ، حيث توقف الإنتاج نتيجة للأحداث التى أعقبتها. وفي الفترة من ١٩٣٠ - ١٩٣٣ عادت الصادرات البترولية السوفيتية تسترد أهميتها حيث بلغ نصيبها من الصادرات العالمية نحو ٧ ٪. غير أن النمو السريع في الاقتصاد السوفيتي لم يلبث أن أدى إلى تقلص الفائض البترولي فاختفت الصادرات باستثناء شحنات قليلة متفرقة. وقد عاد الاتحاد السوفيتي إلى دخول السوق العالمية في مجال تصدير البترول عام ١٩٥٥ ، حيث ارتفع حجم صادراته من ٦ ٪ من إنتاجه البترولي إلى نحو ٢٨ ٪ عام ١٩٧٠ . وكانت دول شرق أوروبا وأهمها ألمانيا الشرقية، وتشيكو سلوفاكيا وبولندا وبلغاريا ثم كوبا أهم المناطق المستوردة للبترول السوفيتي.

هـ- استهلاك وإنتاج السوائل البترولية وصافى العجز فى أهم المناطق

جدول (٥/٦) : ١٩٩٩ - ٢٠٢٠

(الوحدة = مليون برميل فى اليوم)

| البيان | ١٩٩٩ | ٢٠١٠ | ٢٠١٥ | ٢٠٢٠ |
|---|---|---|---|---|
| ١ - الولايات المتحدة الأمريكية | | | | |
| استهلاك | ٢٠ | ٢٣ | ٢٥ | ٢٧ |
| إنتاج | ٨ | ٩ | ١٠ | ١٠ |
| عجز | ١٢ | ١٤ | ١٥ | ١٦ |
| ٢ - أوروبا الغربية واليابان، دول OECD | | | | |
| استهلاك | ٢٤ | ٢٩ | ٣٠ | ٣١ |
| إنتاج بحر الشمال، كندا، المكسيك، أستراليا | ١٣ | ١٦ | ١٥ | ١٥ |
| جملة الدول الصناعية الغربية | | | | |
| استهلاك | ٤٤ | ٥٢ | ٥٥ | ٥٨ |
| إنتاج | ٢١ | ٢٤ | ٢٥ | ٢٥ |
| عجز | ٢٣ | ٢٨ | ٢٠ | ٣٣ |
| ٣ - الاتحاد السوفيتى سابقا وشرق أوربا | | | | |
| استهلاك | ٥ | ٨ | ٩ | ١٠ |
| إنتاج | ٨ | ١٢ | ١٤ | ١٥ |
| فائض | ٣ | ٤ | ٥ | ٥ |
| ٤ - باقى العالم | | | | |
| استهلاك متضمنا أوبك | ٢٦ | ٣٦ | ٤٤ | ٥١ |
| إنتاج بدون أوبك | ١٧ | ١٨ | ١٩ | ٢٢ |
| عجز | ٩ | ٨ | ٢٥ | ٢٩ |
| ٥ - جملة العالم | | | | |
| الاستهلاك العالمى (متضمنا دول أوبك) | ٧٥ | ٩٦ | ١٠٨ | ١١٩ |
| الإنتاج خارج أوبك | ٤٦ | ٥٤ | ٥٧ | ٦١ |
| العجز (متضمنا استهلاك أوبك) | ٢٩ | ٤٢ | ٥١ | ٥٨ |
| إجمالى الإنتاج العالمى | ٧٧ | ٩٦ | ١٠٧ | ١٠٨ |

### ٥ - توقعات التجارة العالمية فى زيت البترول (زيت خام ومنتجات) فى عامى ٢٠٠٠، ٢٠٢٠ هى كالآتى :

أ – إجمالى واردات الدول الصناعية الغربية عام ٢٠٠٠ بلغ نحو ٣٠ مليون برميل فى اليوم موزعة كالآتى :

١١ مليون برميل فى اليوم للولايات المتحدة الأمريكية

١٤ مليون برميل فى اليوم لدول غرب أوروبا

٥,٥ مليون برميل فى اليوم لليابان

ب– إجمالى واردات الدول الصناعية الغربية عام ٢٠٢٠ سوف يرتفع إلى حوالى ٤٠ مليون برميل فى اليوم موزعة كالآتى :

١٧ مليون برميل فى اليوم للولايات المتحدة الأمريكية

١٦ مليون برميل فى اليوم لدول غرب أوروبا

٦,٥ مليون برميل فى اليوم لليابان

جـ– صادرات أوبك من الزيت (خام ومنتجات) عام ٢٠٠٠ بلغت ٢٤,٤ مليون برميل فى اليوم (بخلاف استهلاك أوبك بنحو ٥,٥ مليون برميل فى اليوم)، وهو ما يعادل ٥٢٪ من جملة الصادرات العالمية التى بلغت فى العام المذكور حوالى ٤٢ مليون برميل فى اليوم.

د – فى عام ٢٠٢٠ يتوقع أن يرتفع حجم التجارة العالمية فى الزيت إلى حوالى ٧١ مليون برميل فى اليوم، يبلغ نصيب أوبك منها ٤٥ مليون برميل فى اليوم أو ما يعادل ٦٤٪.

هـ– إن الدول الست الكبرى داخل أوبك تستأثر بنحو ٧٩٪ من الطاقة الانتاجة لدول الأوبك عام ٢٠٢٠ ، حيث يبلغ نصيبهم فى العام المذكور إلى ٥١٪ من الصادرات العالمية.

**٦ - التغيرات فى طبيعة الواردات البترولية فى منطقة الشرق الأوسط وشمال أفريقيا :**

أ - تحاول دول الشرق الأوسط وشمال أفريقيا باستمرار زيادة العائد وذلك بإنتاج وتصدير المنتجات البترولية وليس بيع الزيت الخام. وفى نفس الوقت بعض الدول مثل الولايات المتحدة وضعت عوائق بيئية نحو بناء مصانع جديدة لتقطير البترول. نتيجة لذلك فإن طبيعة صادرات الشرق الأوسط سوف تتحول بشدة من الزيت الخام إلى منتجات التكرير خلال العقود القادمة.

ب- لقد زادت طاقة التكرير لدول الشرق الأوسط فقط (بدون دول شمال أفريقيا) من ٥ مليون برميل فى اليوم فى عام ١٩٩٠ (ما يعادل ٨٪ من الطاقة العالمية) إلى ٥,٩ مليون برميل فى اليوم فى عام ٢٠٠٠ ، ويتوقع أن تزيد إلى ١٠ مليون برميل فى اليوم فى ٢٠١٠ (ما يعادل ١١٪ من الطاقة العالمية)، ١٢,٦ مليون برميل فى اليوم فى ٢٠٢٠ (١٢٪)، ١٥,٦ مليون برميل فى اليوم فى ٢٠٣٠ (١٣٪).

جـ- إن إجمالى احتياجات منظمة التنمية والتعاون الاقتصادى (OECD) لاستيراد المنتج المكرر ستزداد من ٢٪ فى ٢٠٠٠ إلى ١١٪ فى ٢٠٣٠ . كذلك فقد قدر أن الشرق الأوسط (عدا شمال أفريقيا) سوف يصدر ٧ مليون برميل فى اليوم من مشتقات البترول بحلول عام ٢٠٣٠، وذلك مقابل ٢ مليون برميل فى اليوم لكل أفريقيا، ٣ مليون برميل فى اليوم لكل الاتحاد السوفيتى السابق، ٠,٢ مليون برميل فى اليوم لكل أمريكا اللاتينية.

د - تخطط الولايات المتحدة لاستيراد ٧ مليون برميل فى اليوم من المنتج المكرر، والصين ٢ مليون برميل فى اليوم، باقى آسيا ٣ مليون برميل فى اليوم.

هـ- التحول نحو تصدير المنتجات البترولية وليس الخام يقلل الحجم الكلى للنقل.

# الفصل السادس

# الجيوبوليتيكس : (Geopolitics)

## الجيوبوليتيكس أى الجغرافيا السياسية وعلاقتها بإنتاج ونقل البترول والغاز

### ١- منطقة الشرق الأوسط وشمال أفريقيا

وهذه تشمل حوالى ٢٢ دولة توجد فى شكل قوس يمتد من شمال أفريقيا إلى تخوم وسط آسيا والبحر الأحمر. فى عام ٢٠٠٠ كان لدى تلك الدول حوالى ٣٠٠ مليون نسمة وكل دولة لديها ظروف سياسية، اقتصادية، ديمغرافية وأمنية مختلفة.

معظم دول الشرق الأوسط وشمال أفريقيا من العرب والمسلمين وتوجد خلفية عرقية ودينية واحدة.

**تنقسم منطقة الشرق الأوسط وشمال أفريقيا إلى أربع مناطق فرعية هى :**

أ - **المغرب** : موريتانيا، المغرب، الجزائر، تونس، ليبيا

ب- **دول المواجهة مع إسرائيل** : مصر، فلسطين، الأردن، سوريا، (إسرائيل)، لبنان

جـ- **دول الخليج** : إيران، العراق، الكويت، السعودية، البحرين، قطر، الإمارات، عمان.

د - **دول البحر الأحمر** : اليمن، السودان، الصومال

### ٢ - منظمة الدول المصدرة للبترول (أوبك - OPEC) تشمل :

أ - **دول عربية** : السعودية، العراق، الكويت، الإمارات، قطر، الجزائر، ليبيا.

ب- **دول غير غربية** : إيران، نيجيريا، فنزويلا، أندونيسيا.

### ٣ - قانون البحار :

ينظم قانون البحار السارى فى إطار الأمم المتحدة حقوق الدولة الساحلية فى استغلال الموارد الطبيعية الواقعة تحت قاع البحار المتاخمة لحدودها البرية. وقد أقر مؤتمر الأمم المتحدة لقانون البحار عام ١٩٥٨ اتفاقية جنيف التى نصت على أن حق الدولة الساحلية فى السيادة خارج مياهها الإقليمية من حيث استغلال الموارد الطبيعية فى الرف القارى (Continental Shelf) يمتد إلى حيث يصل عمق المياه إلى ٢٠٠ متر أو إلى ما يجاوز هذا العمق حتى الخط الذى يمكن فى حدوده هذا الاستغلال. ولكن هذه الاتفاقية لم تحظ بتصديق ثلثى جميع الدول، ذلك لأن معيار العمق يؤدى إلى اختلاف المسافة التى تمتد إليها سيادة الدولة حيث تمتد هذه المسافة فى بعض المناطق إلى ٩٠٠ ميل بينما ينحدر العمق إلى قاع المحيط على بعد ١٠ أميال عند شواطئ أخرى مثل أمريكا الشمالية والجنوبية.

وعلى طريق المفاوضات التى امتدت عبر سنوات عديدة بعد ١٩٥٨ حيث انتهت إلى توقيع اتفاقية الأمم المتحدة متضمنة قانون البحار فى صورتها النهائية فى جامايكا فى ١٠ ديسمبر ١٩٨٢ حيث صارت نافذة باستيفاء شروط التصديق المطلوبة اعتبارا من ١٦/١١/١٩٩٤ .

ويتيح القانون المذكور للدولة الساحلية أن تمد سيادتها كاملة بحراً وجواً إلى مسافة فى البحر تقع على بعد ١٢ ميلا بحريا من نقط معلومة على شواطئها تسمى خطوط الأساس (Base Lines) كما يطلق على الجزء من البحر الذى يخضع لتلك السيادة الكاملة (Territorial Sea). يلى ذلك فيما أقره قانون البحار حق الدولة الساحلية فى استغلال المصادر الطبيعية فى قاع البحر وفى الطبقات الواقعة تحت القاع على امتداد ينتهى بنهاية حد القارة أو على امتداد ٢٠٠ ميل بحرى من النقطة المعلومة عند الشاطئ ويطلق على تلك المنطقة الرف القارى.

### ٤ - نقاط الاختناق البحرى ومخاطر نقل البترول :

ينقل البترول بطرق مختلفة كثيرة. خطوط مواسير الزيت والغاز تربط شمال أفريقيا بأوروبا، وكثيراً من دول الشرق الأوسط بجنوب آسيا. خلال عام ٢٠٠٢ قدرت إدارة معلومات الطاقة (EIA) أنه ما بين ١,٩ - ٢,٢ مليون برميل فى اليوم ما يعادل ١٢ - ١٤٪ من صادرات البترول من الخليج الفارسى ينقل خلال العديد من خطوط

المواسير وليس بواسطة ناقلات البترول خلال مضيق هورموز. ولكن معظم زيت وغاز الشرق الأوسط وشمال أفريقيا ينقل خلال البحر. فمثلا، كان الزيت يتم تصديره خارج الموانى البحرية فى الخليج والمحيط الهندى وذلك خلال خط مواسير من شرق إلى غرب السعودية إلى ميناء ينبع على البحر الأحمر (حوالى مليون برميل فى اليوم)، وكذلك خلال خط مواسير من كركوك فى العراق إلى ميدان سيهان (Ceyhan) التركى، حوالى (٠,٥ - ٠,٨ مليون برميل فى اليوم)، خلال خط مواسير المار خلال سوريا (حوالى ٠,٢ مليون برميل فى اليوم). كميات صغيرة نسبيا هى التى تتحرك على الطريق البرى فى حافلات نقل البترول إلى مناطق مثل الكردية شمال العراق، تركيا، الأردن، إيران.

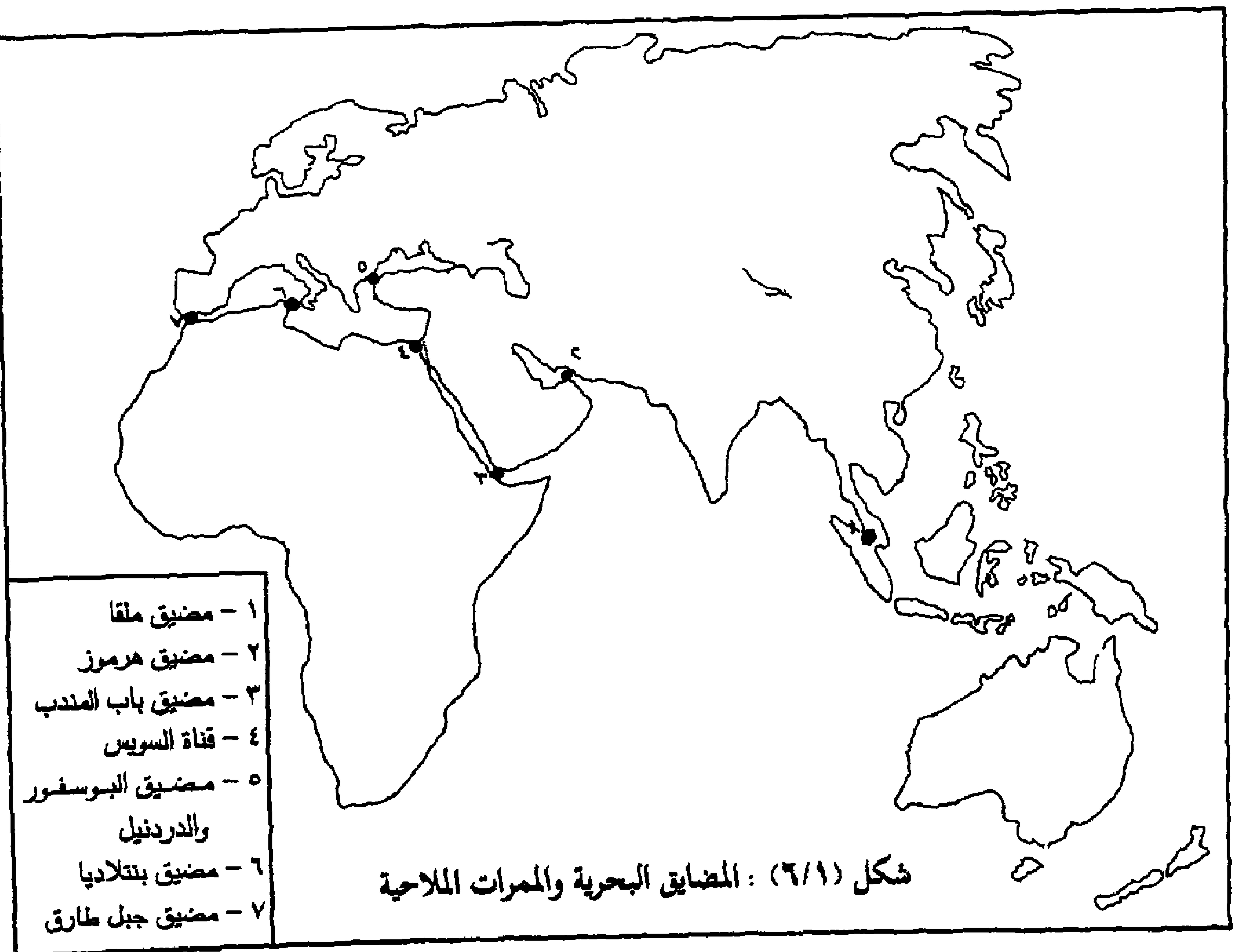
إنه بالرغم من أهمية تأمين حقول البترول والغاز ومنشآت الطاقة وخطوط المواسير فى منطقة الشرق الأوسط وشمال أفريقيا إلا أن معظم صادرات الطاقة تنقل عن طريق البحر. ويقدر أن صادرات الخليج وحدها ستحتاج إلى ما يزيد عن ضعف ناقلات البترول الحالية بحلول عام ٢٠٢٥، بالإضافة إلى التوسع فى الموانى وتسهيلات الشحن. كثير من حركة الناقلات تكون وجهته آسيا وخلال المحيط الهندى والباسيفيكى، ولكن جزءا كبيرا سيتوجه إلى أوروبا والولايات المتحدة.

## ٥ - الاختناقات البحرية الحاكمة ذات التأثير على تدفقات البترول من الشرق الأوسط :

**أ - مضيق هورموز :**

مضيق هورموز هو قناة النقل الوحيدة لدخول وخروج الخليج الفارسى. ما يزيد عن ١٤ مليون برميل فى اليوم تعبر هذا المضيق نحو اليابان، والولايات المتحدة، وغرب أوروبا، ودول ومناطق أخرى. وهو أهم نقطة اختناق لزيت البترول على مستوى العالم.

مضيق هورموز هو مضيق ضيق، حيث يتكون من قناة ذات اتساع ميلين لدخول وخروج الناقلات خلال الجانب العمانى من المضيق. المخارج على كلا الجانبين من المضيق قريبة من المياه الإيرانية والمجال الجوى. كل من إيران والإمارات العربية بينهما نزاع طويل حول ثلاث جزر على الجانب الغربى من المضيق والقريبة من مسارات الناقلات.




شكل (٦/١) : المضايق البحرية والممرات الملاحية

تلك الجزر تشمل أبوموسى، طنب الكبرى، طنب الصغرى وكلها تقع استراتيجيا فى مضيق هورموز. احتلت القوات الإيرانية تلك الجزر فى عام ١٩٩٢، وأعلن فى عام ١٩٩٥ أن تلك الجزر جزء لا يتجزأ من إيران. رفضت إيران حل النزاع بواسطة محكمة العدل الدولية والذى اقترحته دول مجلس التعاون الخليجى عام ١٩٩٦ .

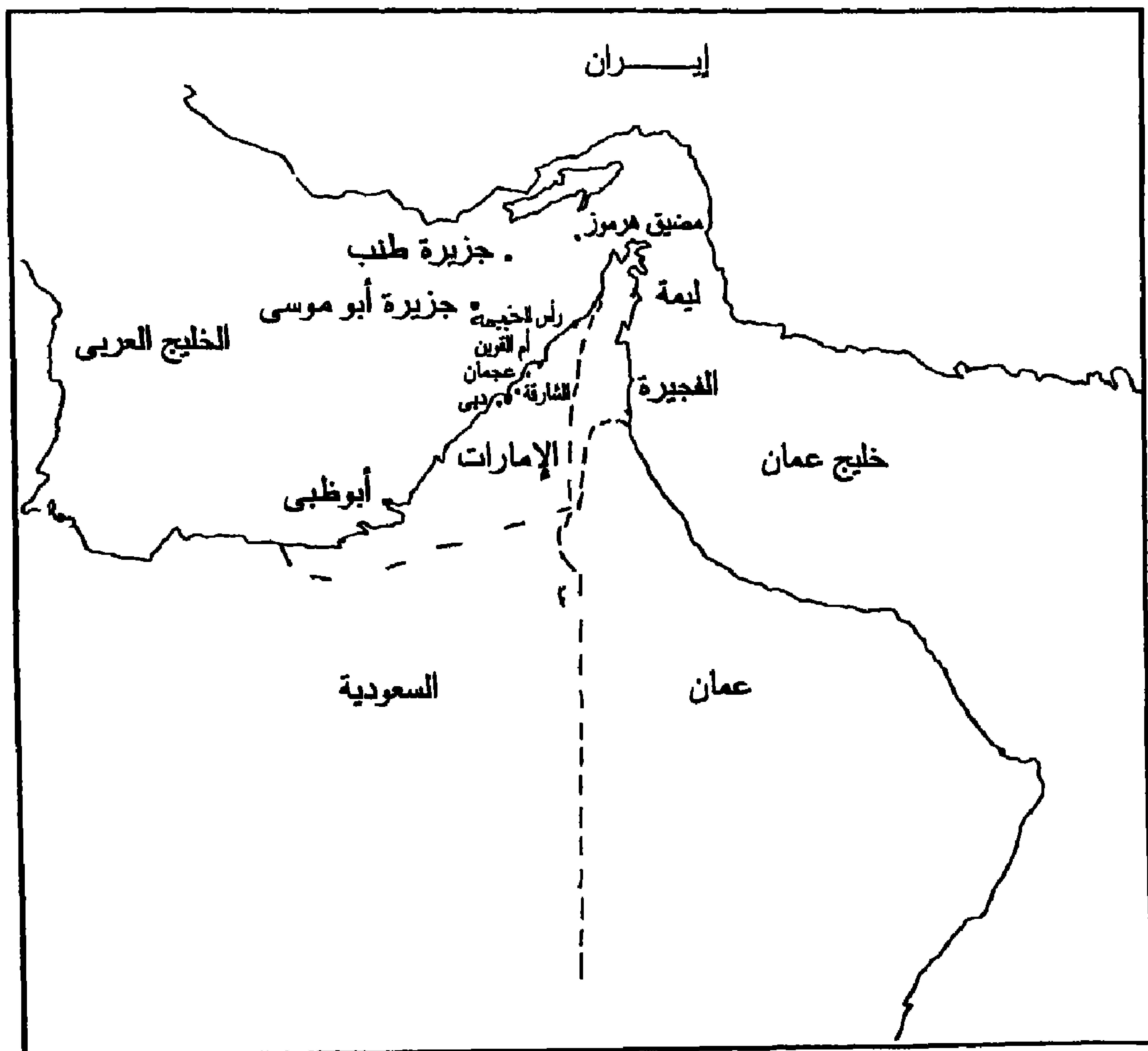
كما اتخذت إيران إجراءات السيطرة على هذه الجزر. فقد أقامت إيران محطة طاقة فى طنب الكبرى، وأقامت مطارا فى أبوموسى وأعلنت عن خطط نحو إنشاء مطار آخر فى أبوموسى. لقد أعلنت إيران عن رغبتها فى عدم الحديث مع الإمارات العربية نحو النزاع فى سبتمبر عام ٢٠٠٠ وأقرت أن إيران قد حصنت الجزر. ورغم عدم حدوث مباحثات فقد أعلنت منظمة التعاون الخليجى تكرار تأييدها لحق عودة الجزر الثلاث لسيطرة ونفوذ الإمارات، وأن دعاوى إيران باطلة وساندت بكل الوسائل الإمارات فى استعادة نفوذها على الجزر الثلاث بالطرق السلمية.

حوالى ١٣,٦ مليون برميل زيت فى اليوم تعبر مضيق هورموز نحو مناطق مختلفة من العالم، نحو الشرق إلى آسيا (خاصة اليابان، الصين، الهند) ونحو الغرب (خلال قناة السويس، وخط مواسير سوميد، أو حول رأس الرجاء الصالح فى جنوب أفريقيا) نحو غرب أوروبا والولايات المتحدة الأمريكية.

وقد أظهرت الدراسات أن الصادرات خلال مضيق هورموز ستصل حوالى ٤٢ مليون برميل فى اليوم بحلول عام ٢٠٢٠، وهذا يعنى أن عدد الناقلات سيزداد إلى الثلاثة أضعاف لعبور المضيق فى عام ٢٠٢٠ عن ما هو عليه الآن. الطرق البديلة لا يمكنها النقل قريبا من مستويات التصدير الحالية، أو من مستويات الإنتاج العالمية المتوقعة.

**ب- البحر الأحمر وباب المندب :**

ناقلات البترول التى تسير غربا من الخليج نحو قناة السويس أو نحو خط مواسير سوميد يجب أن تمر خلال باب المندب. هذا المضيق يقع ما بين جيبوتى وأريتريا فى أفريقيا، واليمن فى شبه الجزيرة العربية. وهو يربط البحر الأحمر مع خليج عدن وبحر العرب. أى إغلاق لباب المندب سيمنع وصول ناقلات البترول إلى قناة السويس / خط مواسير سوميد، حيث ستتحول تلك الناقلات حول جنوب أفريقيا.




شكل (٦/٢) : مضيق هرمز

هذا سوف يضيف كثيرا بالنسبة للوقت والتكاليف وطاقة الناقلات. لا توجد مشاكل رئيسية فى هذه المنطقة، ولكن حاربت اليمن معركة صغيرة مع أريتريا فى ديسمبر ١٩٩٥ على جزيرة حنيش الكبرى الموجودة شمال باب المندب مباشرة. غلق باب المندب سيؤثر على نقل البترول عبر قناة السويس، خط سوميد.

**جـ- خط مواسير سوميد :**

هذا الخط الذى يربط ما بين العين السخنة على خليج السويس وسيدى كرير غرب الإسكندرية على البحر الأبيض المتوسط هو نقطة اختناق عند الطرف الغربى للبحر الأحمر. الزيت المار خلال باب المندب أو نحو الغرب من اليمن أو ساحل البحر الأحمر عند السعودية يجب أن يمر بواسطة الناقلات خلال قناة السويس أو خلال خط مواسير سوميد في مصر. كل من هذين الممرين يربط البحر الأحمر وخليج السويس مع البحر الأبيض المتوسط. لقد قدر أن حوالى ٣ مليون برميل فى اليوم تمر خلال قناة السويس، خط مواسير سوميد. وأى إغلاق لقناة السويس أو لخط مواسير سوميد سوف يجبر الناقلات على التحول نحو جنوب أفريقيا (رأس الرجاء الصالح) بما يزيد من زمن الرحلة ومن الطاقة المطلوبة للناقلة.

نقاط الاختناق مثل مضيق هورموز تظل مناطق معرضة للخطر حيث وجود قوة وعتاد للولايات المتحدة مع الدول الصديقة لها فى المنطقة حيث زاد العتاد الحربى من حاملات الطائرات، والصواريخ، والغواصات، والالغام ... إلخ، وفى المقابل تطوير إيران للقواعد العسكرية في الجزر الغربية من مضيق هورموز وامتلاكها لصواريخ متطورة مضادة للسفن، وللغواصات، كذلك امتلاكها للطائرات المقاتلة طويلة المدى، والقوارب المحملة بالصواريخ. نفس الأسلحة والتقنية تمكن أى دولة على طول مسار النقل البحرى نحو آسيا من خلق نقاط اختناق جديدة، عند مجالات حتى مئات من الكيلومترات.

# الفصل السابع

# الزيت والغاز في مصر

## ١ - زيت البترول فى مصر

مصر وإن كانت قدراتها التصديرية للبترول صغيرة، إلا أن عائدات صادرات البترول هى واحد من أربع مصادر للدخل الأجنبى (وهى السياحة، عائدات قناة السويس، تحويلات المصريين بالخارج).

وقد وجد البترول لأول مرة فى مصر على هيئة رشوحات سطحية فى منطقة جمسة وجبل الزيت على الساحل الغربى، وتم اكتشاف أول حقل للبترول فى منطقة جمسة فى عام ١٩٠٩ على البحر الأحمر، إلا أن إنتاج البترول بكميات مقبولة لم يبدأ إلا فى عام ١٩٦٩ وتم تصدير كميات صغيرة منه لأول مرة عام ١٩٧٥ .

**مراحل الاستكشاف :**

كانت المرحلة الأولى للاستكشاف فى الفترة من ١٨٨٦ – ١٩٢١ ، والمرحلة الثانية من ١٩٢٢ – ١٩٥٣ حيث اكتشفت حقول رأس غارب وسدر والمطارمة ووادى فيران وجميعها فى منطقة خليج السويس. المرحلة الثالثة من ١٩٥٤ إلى ١٩٦٣ حيث تم تأسيس المؤسسة المصرية العامة للبترول عام ١٩٥٦ وتم فيها اكتشاف أول حقل بحرى فى خليج السويس عام ١٩٦١ وهو حقل بلاعيم البحرى بالإضافة إلى سبعة حقول برية فى منطقة خليج السويس. المرحلة الرابعة (١٩٦٤ – ١٩٧٢) وهى بداية اكتشاف الغاز الطبيعى فى منطقة الدلتا والصحراء الغربية بالإضافة إلى اكتشاف عدة حقول جديدة فى منطقة خليج السويس ومن أهمها حقل المرجان، كما تم اكتشاف أول حقل بترول فى الصحراء الغربية وهو حقل العلمين. المرحلة الخامسة (١٩٧٣ – ١٩٨٥) وهى من أنشط المراحل فى التنقيب عن البترول حيث شملت أعمال الاستكشاف مناطق جديدة فى جنوب مصر والتى شملت ١٢٠ حقلا للزيت أو الغاز أو

كليهما. المرحلة السادسة (٤٩٨٦ – الآن) حيث زادت الأنشطة الاستكشافية وزيادة نسبة نجاح الحفر الاستكشافى، كما بدأت الشركات العالمية فى العمل فى الصعيد فى أسيوط وقنا وأسوان.

توجد حقول البترول فى أربع مناطق رئيسية وهى خليج السويس (أكثر من ٥٠٪)، الصحراء الغربية، الصحراء الشرقية، وسيناء.

يوضح الجدول (٧/١) تطور الاحتياطيات والإنتاج والاستهلاك فى الفترة من ١٩٧٠ – ١٩٩٧ طبقا للتقرير السنوى الصادر من الهيئة العامة للبترول. فقد انخفض الاحتياطى المؤكد لزيت البترول فى مصر من ٦١٦ مليون طن عام ١٩٧٠ إلى نحو ٤٠٣ مليون طن عام ١٩٩٧ بمعدل انخفاض سنوى مقداره ١,٦٪ بما يعنى أن الفترة الباقية على نفاد الاحتياطيات (أى النسبة بين الإنتاج إلى الاحتياطيات فى نفس السنة، منذ عام ١٩٨٥ وحتى الآن (١٩٩٧) كما يتضح من الجدول (٧/١) وهو ما يعنى أن هناك اتجاها عاما لتآكل الاحتياطيات المصرية من زيت البترول.

**جدول (٧/١) : تطور احتياطيات وإنتاج واستهلاك خام البترول**

**فى الفترة من ١٩٧٠ – ١٩٩٧ (بالمليون طن مترى)**

| السنة | الاحتياطى | الإنتاج | السنوات الباقية | السنة المتوقعة للنفاد | الاستهلاك | النسبة للإنتاج | الخام المعالج فى معامل التكرير |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ١٩٧٠ | ٦١٦,٤٣٨ | ١٦,٤٠٤ | ٣٨ | ٢٠٠٨ | ٦,٦٩٦ | ٠,٤٠٨ | ٣,٣٧١ |
| ١٩٧١ | ٦٤٢,٤٦٦ | ١٣,٥٦٣ | ٤٧ | ٢٠١٨ | ٦,٣٢٧ | ٠,٤٦٦ | ٤,٥٩٦ |
| ١٩٧٢ | ٦٦٩,٨٦٣ | ١٠,٧٢١ | ٦٢ | ٢٠٣٤ | ٧,١٣٢ | ٠,٦٦٥ | ٦,٢٦٧ |
| ١٩٧٣ | ٦٩٨,٦٣٠ | ٨,٤٧٩ | ٨٢ | ٢٠٥٥ | ٦,٦٠٩ | ٠,٧٧٩ | ٦,٧٨١ |
| ١٩٧٤ | ٦١٦,٤٣٨ | ٧,٤٥٣ | ٨٣ | ٢٠٥٧ | ٧,٢٩٨ | ٠,٩٧٩ | ٦,٦٩٨ |
| ١٩٧٥ | ٥٣٤,٢٤٧ | ١١,٧٣٤ | ٤٦ | ٢٠٢١ | ٨,٠٣٣ | ٠,٦٨٥ | ٩,١٣٤ |
| ١٩٧٦ | ٤٣٥,٦١٦ | ١٦,٦٤١ | ٢٦ | ٢٠٠٢ | ٩,٤٥٩ | ٠,٥٦٨ | ١٠,١٠٣ |
| ١٩٧٧ | ٣٣٥,٦١٦ | ٢٠,٨٤٦ | ١٦ | ١٩٩٣ | ١٠,٠٣٨ | ٠,٤٨٢ | ١٠,٧٦١ |
| ١٩٧٨ | ٤٣٨,٣٥٦ | ٢٤,٢٩٩ | ١٨ | ١٩٩٦ | ١٠,١٨٥ | ٠,٤١٩ | ١١,٥٨٤ |
| ١٩٧٩ | ٤٢٤,٦٥٨ | ٢٦,٣٢٧ | ١٦ | ١٩٩٥ | ١١,١٢٠ | ٠,٤٤٢ | ١١,٨٧٥ |

| السنة | الاحتياطى | الانتاج | السنوات الباقية | السنة المتوقعة للنفاذ | الاستهلاك | النسبة للإنتاج | الخام المعالج فى معامل التكرير |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ١٩٨٠ | ٣٩٧,٢٦٠ | ٢٩,٤٠٤ | ١٤ | ١٩٩٤ | ١٢,١٨١ | ٠,٤١٤ | ١٣,٨٣٤ |
| ١٩٨١ | ٥٣٨,٣٥٦ | ٣١,٣٩١ | ١٧ | ١٩٩٨ | ١٣,٥٥٤ | ٠,٤٣٢ | ١٥,٠٦١ |
| ١٩٨٢ | ٤٥٦,١٦٤ | ٣٣,١١٢ | ١٤ | ١٩٩٦ | ١٤,٨٧٦ | ٠,٤٤٩ | ١٦,٨١١ |
| ١٩٨٣ | ٤٧٢,٦٠٣ | ٣٦,٣٨١ | ١٣ | ١٩٩٦ | ١٦,٧٣٨ | ٠,٤٦٠ | ١٨,١٤٠ |
| ١٩٨٤ | ٤٣٨,٣٥٦ | ٤٠,٩٤٩ | ١١ | ١٩٩٥ | ١٨,٣٧١ | ٠,٤٤٩ | ١٩,٤٥٠ |
| ١٩٨٥ | ٤٣٨,٣٥٦ | ٤٤,٣١٢ | ١٠ | ١٩٩٥ | ١٩,٣٤٣ | ٠,٤٣٧ | ٢٠,٢١٨ |
| ١٩٨٦ | ٤٥٢,٠٥٥ | ٤٠,٢٤٠ | ١١ | ١٩٩٧ | ١٩,٤٥٩ | ٠,٤٨٤ | ٢١,١٣٨ |
| ١٩٨٧ | ٤٥٢,٠٥٥ | ٤٥,٩٣٠ | ١٠ | ١٩٩٧ | ٢٠,٩٣٣ | ٠,٤٥٦ | ٢١,١٩٧ |
| ١٩٨٨ | ٤٥٠,٦٨٥ | ٤٥,٥٠٠ | ١٠ | ١٩٩٨ | ٢١,٢٩١ | ٠,٤٧٨ | ٢٠,٥٢٨ |
| ١٩٨٩ | ٤٥٤,٧٩٥ | ٤٢,٩٩٩ | ١١ | ٢٠٠٠ | ٢١,٢٦٦ | ٠,٤٩٥ | ٢٣,٠٥٧ |
| ١٩٩٠ | ٤٧٣,٩٧٣ | ٤٣,٩٥٢ | ١١ | ٢٠٠١ | ٢٢,٣٨٣ | ٠,٥٠٩ | ٢٤,٣٣٧ |
| ١٩٩١ | ٤٨٠,٨٢٢ | ٤٣,٨٣٧ | ١١ | ٢٠٠٢ | ٢٢,٤٤٧ | ٠,٥١٢ | ٢٤,٨٢٤ |
| ١٩٩٢ | ٤٦٧,١٢٣ | ٤٤,٣١١ | ١١ | ٢٠٠٣ | ٢٢,٥٩٤ | ٠,٥١٠ | ٢٥,٢١٠ |
| ١٩٩٣ | ٤٦٥,٧٥٣ | ٤٥,٤٦٤ | ١٠ | ٢٠٠٣ | ٢٠,٩٣٦ | ٠,٤٦٠ | ٢٥,٦٠١ |
| ١٩٩٤ | ٤٤٧,٩٤٥ | ٤٤,٣٥٦ | ١٠ | ٢٠٠٤ | ٢٠,١٥٠ | ٠,٤٥٤ | ٢٦,٥٠٨ |
| ١٩٩٥ | ٤٢٧,٣٩٧ | ٤٤,٤٣٦ | ١٠ | ٢٠٠٥ | ٢١,٢٧٨ | ٠,٤٧٩ | ٢٧,٣٠٣ |
| ١٩٩٦ | ٤١٠,٩٥٩ | ٤٢,٧٨٤ | ١٠ | ٢٠٠٦ | ٢٢,٩٩٥ | ٠,٥٣٧ | ٢٨,٣١١ |
| ١٩٩٧ | ٤٠٢,٨٢١ | ٤١,٢٥٩ | ١٠ | ٢٠٠٧ | ٢٥,٨٥٣ | ٠,٦٢٧ | ٢٩,٢٥٩ |

المصدر : الهيئة العامة للبترول – التقرير السنوى – (مصادر الطاقة فى مصر وآفاق تنميتها – د. مهندس محمد منير مجاهد) .

ويلاحظ أن تآكل الاحتياطيات لا يحدث فقط نتيجة لاستمرار نمو الاستهلاك المحلى بالإضافة إلى التصدير، بل إن انهيار الأسعار العالمية للبترول منذ عام ١٩٨٦ قد أضاف عاملا جديدا إلى تلك الأسباب. فعقود اقتسام الإنتاج التى أبرمتها مصر مع الشركات الأجنبية تنص على أن تحصل الشركة الأجنبية العاملة فى مصر على

نسبة من الإنتاج تتراوح حول ٣٠ – ٣٥٪ وذلك سداداً لما أنفقته على الاستكشاف والإنتاج. وما تحصل عليه الشركة فى شكل زيت عينى يتم تقييمه بالسعر العالمى السائد وقت الاسترداد ثم تخصم القيمة من إجمالى المستحق للشركة. وهكذا تتكرر العملية عاما بعد آخر إلى أن يتم استرداد جميع النفقات؛ ولذلك فإن انخفاض الأسعار العالمية إلى ما يقرب من النصف منذ ١٩٨٦ من شأنه أن يضاعف كمية البترول التى تحصل عليها الشركات سداداً للنفقات، وبذلك تزداد سرعة تآكل الاحتياطيات.

كذلك قد تزداد سرعة تآكل الاحتياطيات نتيجة للتعديل الذى أدخل على عقود اقتسام الإنتاج عام ١٩٨٧ وخوَّل بمقتضاه للشركات الحصول على مقابل أكبر (نقداً أو عيناً) بالنسبة لما يكتشف من الغاز الطبيعى ويتم إنتاجه وتسويقه فى السوق المحلية. فقد نص التعديل على أن يعامل الغاز معاملة الزيت بحيث يحق للشريك الأجنبى استرداد كافة النفقات مضافا إليها حصة يتفق عليها مما يتبقى بعد النفقات. وفى تلك الحالة، وبسبب صعوبة تصدير الحصة عينا، فإنه يتم بيعها لقطاع البترول بالأسعار العالمية أو يحصل الشريك الأجنبى على ما يقابلها من الزيت الخام، وفى عدم التزام الجانب المصرى بتسويق نصيب الشريك الأجنبى فى حالة الزيت فإنه يلتزم فى حالة الغاز بأن يبذل الجهد لإيجاد أسواق محلية كفيلة باستيعاب الغاز المنتج بما فى ذلك نصيب الشريك الأجنبى. ومتى تعاقد الجانب المصرى على شراء نصيب الشريك الأجنبى فإنه يلزم بدفع ما لا يقل عن ٧٥٪ من قيمة الغاز المتعاقد عليه طوال فترة العقد حتى ولو عجز عن استلام الكميات المتعاقد عليها جزئيا أو كليا، وهذا ما يعرف بشرط (Take Or Pay) .

ومن الملاحظ أن الاكتشافات الجديدة وإن كانت لم ترفع قيمة الاحتياطيات إلا أنها قد قللت من معدل تآكلها، فقد بلغ حجم الإنتاج التراكمى من البترول فى الفترة من ١٩٨٨ – ١٩٩٧ ما يقرب من ٤٤٠ مليون طن وإذ تتساوى هذه الكمية تقريبا مع حجم الاحتياطى المؤكد فى أواخر ١٩٨٧ والبالغ ٤٥٢ مليون طن فإن الاحتياطى المؤكد فى آخر عام ١٩٩٧ والبالغ نحو ٤٠٣ مليون طن يمكن اعتباره محصلة لأنشطة الاستكشاف خلال السنوات العشر السابقة. ومن الجدير بالذكر أن عمليات البحث والاستكشاف طبقا للاتفاقيات البترولية الحالية تغطى حوالى ٦١٪ من مساحة مصر

بالإضافة إلى أن مصر أصبحت تحتل المرتبة الأولى بين دول المنطقة فى معدل النشاط الاستكشافى فى أعمال حفر الآبار البترولية.

وعلى الرغم من مظاهر النجاح فى أنشطة الاستكشاف فما زال وضع البترول بعيدا عن نقطة الأمان. فالحقول الكبيرة مثل بلاعيم ومرجان ورمضان تم اكتشافها خلال الفترة من ١٩٥٥ - ١٩٧٨ أما الحقول الجديدة المكتشفة خلال عقدى الثمانينيات والتسعينيات فهى صغيرة الحجم وإن كانت كثيرة العدد. ويعقد بعض الخبراء الآمال على الصحراء الغربية التى تشبه تراكيبها الجيولوجية التراكيب الليبية المنتجة للبترول. وهناك بعض الشواهد المشجعة نتيجة لتزايد الأنشطة الاستكشافية فى الصحراء الغربية حيث تم العثور على البترول فى مجتمعات صغيرة بها وبذلك ارتفع نصيب الصحراء الغربية فى إجمالى الإنتاج من ٣,٨٪ عام ١٩٨٠ إلى ١١,٥٪ عام ١٩٩٥، إلا أن منطقة خليج السويس لازالت المنطقة ذات أكثر الاحتياطيات لزيت البترول فى مصر والتى يمثل إنتاجها ٨١٪ من جملة الإنتاج عام ١٩٩٥ .

أما بالنسبة للاستهلاك فتعكس الفترة من ١٩٧٠ - ١٩٧٤ آثار نكسة ١٩٦٧ حيث تراوح معدل الاستهلاك السنوى حول ٦,٨ مليون طن وقد كان فى مقدمة العوامل التى ساعدت على عدم النمو خلال هذه الفترة فقدان مصر لأهم مصادرها البترولية فى خليج السويس، وإن كان بدء الإنتاج فى المرجان الكبير قد عوض جانبا من هذه المصادر. واعتبارا من ١٩٧٥ وحتى الآن فقد تزايد الاستهلاك بشكل مستمر. حيث تزايد استهلاك زيت البترول الخام من ٨ مليون طن عام ١٩٧٥ إلى ١٩ مليون طن عام ١٩٨٥ بمعدل زيادة سنوية مقدارها ٩,٢ ٪ وهى فترة غير عادية من النمو ولا يتوقع تكرارها فى المستقبل المنظور. أما الفترة من ١٩٨٥ حتى الآن فإن معدل تزايد الاستهلاك فيها هو معدل مقبول مقداره ٢,٤ ٪ سنويا، ومن ناحية أخرى فقد تزايد الاعتماد على الغاز الطبيعى فى هذه الفترة. ومن المهم هنا ملاحظة تزايد نسبة الاستهلاك للإنتاج والذى انعكس على زيادة الكميات التى تشتريها مصر من حصة الشريك الأجنبى ونقص الكميات التى تصدرها مصر، كما توضح بيانات جهاز تخطيط الطاقة عن الفترة من العام المالى ٩٣ / ١٩٩٤ إلى ٩٧ / ١٩٩٨ والمبينة فى الجدول التالى.

**جدول (٧/٢) : تطور تصدير البترول والشراء من حصة الشريك الأجنبى**

**فى الفترة من ٩٣ / ١٩٩٤ إلى ٩٧ / ١٩٩٨ (مليون طن مترى)**

| العام المالى | ١٩٩٤/٩٣ | ١٩٩٥/٩٤ | ١٩٩٦/٩٥ | ١٩٩٧/٩٦ | ١٩٩٨/٩٧ |
|---|---|---|---|---|---|
| الشراء من الشريك الأجنبى | ٥,٠٧٠ | ٤,٩٩٨ | ٦,١٨٩ | ٦,٢٥٩ | ٦,٤٧١ |
| التصدير | ٩,٤١٠ | ٧,٩٣٣ | ٧,٨٢٤ | ٦,٦٠٩ | ٣,٩٤٩ |

المصدر : جهاز تخطيط الطاقة «الطاقة فى مصر».

ويلاحظ من الأرقام الواردة فى الجدولين السابقين أن نسبة كبيرة من الإنتاج تستهلك محليا وما يتم تصديره يمثل فى معظمه تكاليف يستردها عينا الشريك الأجنبى وهى تكاليف النشاط لتنمية الحقول ومصروفات التشغيل والصيانة وحصة الشريك الأجنبى من الأرباح. ولذلك فإنه وإن كان حجم إنتاج مصر كبيرا ولكن معظمه يستهلك محليا.

على ضوء التحليل المتقدم فإن الاحتفاظ بمستويات الإنتاج الحالية يبدو غير ممكن إلا من خلال اكتشافات جديدة وكبيرة، حيث سيتزايد الاستهلاك المحلى من المنتجات البترولية فى الأعوام القادمة وإن كان بمعدلات أقل نتيجة الاعتماد على الغاز الطبيعى، وقد تصل فى المستقبل القريب إلى شراء كامل حصة الشريك الأجنبى والاستيراد من الخارج.

## ٢ - الطفلة الزيتية :

تعرف الطفلة الزيتية والتى يطلق عليها أيضا الطفلة البترولية أو الصخر الزيتى بأنها طفلة تحتوى على نسبة عالية من المواد العضوية (Kerogen) والتى يمكن تحويلها إلى زيت أو غاز بالمعالجة، حيث الزيوت الناتجة عن معالجة الطفلة الزيتية تشبه النفط الخام ويمكن تكريرها لإنتاج منتجات بترولية تقليدية، كما يمكن حرقها فى مراجل خاصة لإنتاج البخار.

وتقع الرسوبيات الكبرى للطفلة الزيتية فى كل من الصين وأستراليا والولايات المتحدة الأمريكية وشمال أفريقيا والبرازيل بالإضافة إلى الاتحاد السوفيتى السابق. وتقدر الأرصدة المؤكدة من الطفل الزيتى على المستوى العالمى بحوالى ٢,٩ تريليون

طن، غير أن التكنولوجيا المتاحة حاليا لتنمية هذه الموارد واستغلالها لاتزال معقدة ومكلفة نسبيا؛ ولذلك تساهم الطفلة الزيتية حاليا مساهمات متواضعة للغاية فى الإمداد العالمى للطاقة.

تتفاوت أساليب استخدام الطفلة الزيتية ما بين حرقها مباشرة عقب استخراجها فى أفران خاصة لتوليد الطاقة، أو استخلاص ما بها من مواد هيدروكربونية. وحتى عام ١٩٥٨ كانت صناعة استخراج الزيت الطفلى فى كل من السويد وأسبانيا واسكتلندا منافسة لأسعار النفط فى السوق العالمى. ولكن عند انخفاض أسعار النفط فى الفترة من ١٩٦٠ – ١٩٧٣ أصبحت المنافسة غير ممكنة (حيث وصل سعر البرميل ٢,٥ دولار)، إلا أنه مع ارتفاع أسعار البترول سيعود الاهتمام بالطفلة الزيتية وتطوير النواحى التكنولوجية المتعلقة بمختلف مراحل تشغيلها.

## ٣ - الاحتياطيات:

بدأت هيئة المساحة الجيولوجية فى دراسة إمكانيات استغلال الطفلة الزيتية بالتعاون مع بعض المؤسسات الأجنبية منذ أواخر الخمسينيات؛ وذلك عندما لوحظ احتراقها الذاتى فى الرديم المستخرج من مناجم الفوسفات، وقد تم جمع خمسين عينة من عدة مناطق فى الصحراء الشرقية ومنطقة المحاميد بوادى النيل وهضبة أبوطرطور بالصحراء الغربية وتم عمل الدحاليل فى جامعة برلين وأوضحت النتائج الآتية :

١ – أعطت عينات منطقة البحر الأحمر أعلا النتائج كما يلى :

- منطقة وصيف ١٧٠ لترا/طن (٤٥ جالونا/طن)
- الحمراوين ٧٥ لترا/طن (٢٠ جالونا/طن)
- أبو شجيله ٨٧ لترا/طن (٢٣ جالونا/طن)
- جبل ضوى ١٥٠ لترا/طن (٤٠ جالونا/طن)

٢ – أمكن تقدير الاحتياطى المبدئى للزيت فى الطفلة الزيتية الموجودة فى البحر الأحمر والتى متوسط سمكها ٢٥ مترا بحوالى ٤,٥ بليون برميل (٦٠٠ مليون طن) (الطن = ٧.٥ برميل) إلا أن هذه المنطقة تتميز بصعوبة التركيب

الجيولوجى، ولا يمكن استغلال خامات البحر الأحمر بطريقة المنجم المفتوح بسبب وجود غطاء صخرى سميك فوق طبقات الطفلة فى بعض المناطق يصل سمكه إلى ٢٥٠ مترا، كما أوضحت دراسة لاحقة لهيئة المساحة الجيولوجية فى عام ٩٣ / ١٩٩٤ صعوبة استخراج الطفلة الزيتية الموجودة بمناجم الفوسفات الناضبة بسبب حدوث كثير من الانهيارات فيه نتيجة لعدم وجود تدعيم للأسقف والجدران.

٤ – التركيب الجيولوجى لمنطقة أبوطرطور بسيط، متوسط سمك طبقة الطفلة الزيتية مترين بمساحة ٩٠٠ كيلو متر مربع تقريبا، والتقدير المبدئى لاحتياطى الزيت فى هذه الطبقة حوالى ١,٢ مليار برميل (١٦٠ مليون طن) ويمكن استخراج الطفلة الزيتية عندما يبدأ استغلال خام الفوسفات.

٥ – من خلال الدراسات وجد أن التقدير المبدئى لاحتياطى الطفلة الزيتية فى مناجم فوسفات قطاع القصير بالبحر الأحمر يبلغ حوالى ١٥ مليار طن موزعة كالآتى:

- منطقة جبل ضوى والعنز والنخيل : ٩,٠٠ مليار طن
- منطقة أبوشجيله : ٠,٥ مليار طن
- منطقة حماضات وأبو تندب ووادى غزال : ٥,٥ مليار طن

ويعتقد أن شبه جزيرة سيناء تحتوى على مواقع غنية بالطفلة الزيتية إلا أنه حتى الآن لم يتم عمل مسح جيولوجى شامل لها.

**الاحتمالات المستقبلية للاستغلال :**

أثبتت الدراسات التى تمت على عينات الطفلة الزيتية المصرية أن أنسب استخدام لها هو الحرق المباشر والحصول على الطاقة اللازمة لإنتاج البخار فى محطات توليد الكهرباء. وقد قامت هيئة كهرباء مصر بعمل دراسة أولية لإنشاء وحدة تجريبية لتوليد الطاقة الكهربية بقدرة ٢٠ ميجاوات بواسطة الحرق المباشر للوقود الصلب منخفض النوعية دون إنتاج ملوثات تضر بالبيئة. وتوجد حاليا محطة ريادية شبيهة فى إسرائيل قدرتها ١٢ ميجاوات تعمل منذ عام ١٩٨٩ .

وبناء على دراسة معدلات الاستهلاك فقد تبين أن المخزون المصرى من الطفلة الزيتية يكفى لتوليد طاقة كهربية تكافئ تلك المستهلكة فى مصر عام ١٩٩٠ (٣٦ مليار كيلوات سعة) لمدة ٦٠٠ سنة. إلا أن أسعار أنواع الوقود الأخرى بما فى ذلك الزيوت الصناعية التى تستخرج من الفحم - وتطوير أساليب جديدة واقتصادية لاستخدام الطفلة الزيتية بالإضافة إلى تكلفة حماية البيئة، هى التى تحدد مستقبل الطفلة الزيتية كمصدر للوقود ليس فى مصر فقط ولكن فى كافة أنحاء العالم.

## ٤ - البتيومين الطبيعى :

يعرف البتيومين الطبيعى (الحجر البتيومينى ورمال القار) بأنه خام بترول ذو لزوجة عالية جداً، ويتكون من رمال أو أحجار رملية تحتوى على نسبة عالية من الهدروكربونات القارية التى يمكن أن يستخرج منها زيت بترولى صناعى خلال عمليات التسخين أو عمليات الاستخراج الأخرى، ثم المعالجة، كما يشمل أيضا القطران والزيوت الثقيلة بالغة الكثافة واللزوجة والتى لا يمكن إنتاج الزيت البترولى منه بالأساليب التقليدية.

وتوجد أهم احتياطيات البتيومين الطبيعى فى العالم فى كندا والولايات المتحدة الأمريكية وفنزويلا وروسيا الاتحادية وباستثناء كندا وبدرجة أقل روسيا. فإن البتيومين الطبيعى لا يستخدم حاليا كمصدر لإنتاج الزيت البترولى الاصطناعى.

### الاحتياطيات :

يوجد الحجر البتيومينى فى مصر بمنطقة جنوب غرب سيناء وشرق هضبة التيه وتعتبر منطقة وادى الهشم من أهم هذه المواقع، أما رمال القار فتوجد فى منطقة أبودربة على خليج السويس جنوب أبورديس ويقدر الاحتياطى المبدئى من الخام بحوالى ٢٠٠ مليون مترمكعب.

### الاحتمالات المستقبلية للاستغلال :

لا توجد حاليا خطط لاستغلال احتياطيات رمال القار والحجر البتيومينى فى مصر للطاقة ولا يتوقع مع استمرار تدنى أسعار البترول أن تصبح هذه الموارد اقتصادية على المدى المنظور.

## ٥ - تقديرات زيت البترول فى مصر من وجهة نظر وكالة الطاقة الأمريكية (EIA)

لقد قدرت (EIA) فى يناير ٢٠٠٤ أن مصر لديها ٣,٧ مليار برميل من الاحتياطى (حوالى ٤٩٣ مليون طن) وأن نسبة الاحتياطى إلى الإنتاج هى ١٠ : ٤ . يتوالى هبوط إنتاج البترول خلال السنين وكذلك نقص فى معظم الاكتشافات الجديدة، وقد أدى هذا إلى الضرر المستمر فى ميزان تجارة البترول فى مصر. تصل عائدات صادرات البترول إلى حوالى ١,٦ مليار فى ١٩٩٦ ، ثم هبطت إلى ١٥٦ مليون دولار فى ١٩٩٨ ، ثم تحركت نحو العجز فى الميزانية أثناء عام ١٩٩٩ . أحد الأسباب كان مدفوعات مصر للشركات الأجنبية مقابل نصيبهم من إنتاج الغاز. فى فبراير ٢٠٠٠ ، كانت مصر تتباحث مع شركات البترول العالمية بخصوص تعديل فى الاتفاقيات التى يمكن أن تدخل تعديلا فى معادلة سعر الغاز لاتفاقيات اقتسام الإنتاج لتشجيع الاستكشاف وتنمية الغاز الطبيعى فى مصر بتقديم شروط تفضيلية لشركات الاستكشاف.

لقد قدرت (EIA) أن إنتاج مصر من خام البترول قد هبط فى السنين الماضية من ٩٢٠٠٠٠ برميل فى اليوم فى ١٩٩٥ ، ٩٢٢٠٠٠ برميل فى اليوم فى ١٩٩٦ ، ٨٥٦٠٠٠ فى ١٩٩٧ ، ٨٦٦٠٠٠ فى ١٩٩٨ ، ٤٨٦٦٠٠٠ الشهور الخمس الأولى من ١٩٩٩ ، فى يناير ٢٠٠٤ كان متوسط إنتاج مصر ٧٥٢٠٠٠ برميل فى اليوم فى ٢٠٠٣ والاستهلاك المحلى ارتفع إلى ٥٥٨٠٠٠ برميل فى اليوم، وكان صافى الصادرات هو ١٩٤٠٠٠ برميل فى اليوم فقط.

لقد قدرت (BP) أن متوسط إنتاج مصر ٩٢١٠٠٠ برميل فى اليوم فى عام ١٩٩٤ ، ٩٢٤٠٠ فى ١٩٩٥ ، ٨٩٤٠٠٠ فى ١٩٩٦ ، ٨٧٣٠٠٠ فى ١٩٩٧ ، ٨٥٧٠٠٠ فى ١٩٩٨ ، ٨٢٧٠٠٠ فى ١٩٩٩ ، ٧٨١٠٠٠ فى ٢٠٠٠ ، ٧٥٨٠٠٠ فى ٢٠٠١ ، ٧٥١٠٠٠ فى ٢٠٠٢ .

مصر تأمل فى تنشيط الاستكشاف خاصة فى المناطق الجديدة لتحقيق زيادة فى الإنتاج أعلا من ٨٠٠٠٠٠ برميل فى اليوم. خام البترول من خليج السويس ينتج أساسا بواسطة جابكو والذى بدأ منذ ١٩٦٠ ، حيث هبط بسرعة وإن كان قد ظل عند مستويات أعلا من ٣٠٠٠٠٠ برميل فى اليوم. يلى جابكو أكبر ثانى منتج فى مصر

هى (Petrobel) وهى شركة إيطالية مشاركة مصرية والتى تنتج حوالى ٢٩٠٠٠٠ برميل فى اليوم أساسا فى خليج السويس وسيناء.

**معامل التكرير وصناعة البتروكيماويات**

تحاول مصر التعامل مع الموقف بالتحول من صادرات الخام إلى صادرات المنتجات، معامل مصر تحقق الاحتياجات المحلية، ومصر تصدر كمية كبيرة من المنتجات الخفيفة.

معامل التكرير التسعة فى مصر لها طاقة تصنيع لحوالى ٧٢٦٢٥٠ برميلا فى اليوم من الخام. كما تم التخطيط لإنشاء مصنع بروبيلين فى الإسكندرية الذى يستخدم الغاز الطبيعى من حقول الصحراء الغربية كمواد خام. وذلك لإنتاج حوالى ١٢٠,٠٠٠ طن من البولى بروبيلين سنويا. كما أن هناك شركة (Philips Petroleum) تنظر نحو بناء مصنع فى مصر للبولى إثيلين بطاقة ١٥٠,٠٠٠ طن فى العام باستخدام الغاز الطبيعى كمادة خام (Ethane).

**٦ - الغاز الطبيعى فى مصر (د. محمد منير مجاهد):**

اكتشف أكبر وأول حقل للغاز الطبيعى فى مصر وهو حقل أبوماضى عام ١٩٦٧ والذى يغطى مساحة ٣٦ كيلومترا مربعا (يقع شمال وسط الدلتا) وفى ويوليو ١٩٦٩ تم اكتشاف أول حقل غاز بحرى وهو حقل أبوقير، وقد بدأ استغلال الغاز الطبيعى على نطاق تجارى اعتبارا من ١٩٧٥ .

**٧- الاحتياطيات:**

تتواجد حقول الغاز فى مناطق الدلتا والصحراء الغربية وخليج السويس.

ويوضح الجدول التالى (٧/٣ ) تطور الاحتياطيات والإنتاج والاستهلاك فى الفترة من ١٩٧٠ – ,١٩٧٥ ويلاحظ أن الاحتياطى المؤكد من الغاز قد ارتفع من ١١١ مليون طن عام ١٩٧٠ إلى ٧٥٥ مليون طن عام ١٩٩٧ بمعدل زيادة سنوية مقدارها ٨,٣٪ فى الوقت الذى زاد فيه الإنتاج من ٧٢ ألف طن إلى ١٠,٥ مليون طن فى نفس الفترة أى بمعدل زيادة سنوية مقدارها ١٢٠٪ وهو ما يدل على ضخامة الاكتشافات من الغاز الطبيعى والاتجاه المتصاعد لزيادة الاحتياطيات.

والواقع أن إجمالى ما أنتج فى الفترة من ١٩٧٠ – ١٩٩٧ (١٠٧ مليون طن) يقل قليلا عن الاحتياطيات المؤكدة فى عام ١٩٧٠ . وهو ما يوضح أن الاحتياطى المؤكد المتوافر فى نهاية عام ١٩٩٧ هو حصيلة للجهود الاستكشافية فى الفترة الماضية وعلى الأخص السنوات الخمس (١٩٩٢ – ١٩٩٧) التى شهدت اكتشافات ضخمة قفزت بالاحتياطيات من ٢٩٣ إلى ٧٥٥ مليون طن أو بعبارة أخرى فإن ٦٠٪ من الاحتياطيات المتوافرة فى نهاية ١٩٩٧ تكفى احتياجات مصر حتى عام ٢٠٦٩ بفرض عدم إضافة اكتشافات جديدة واستمرار الإنتاج بنفس معدل عام ١٩٩٧ .

**جدول (٣/٧) : تطور احتياطيات وإنتاج واستهلاك الغاز الطبيعي**

**فى الفترة من ١٩٧٠ – ١٩٩٧ (مليون طن مترى)**

**المصدر : الهيئة العامة للبترول**

| السنة | الاحتياطى | الإنتاج | السنوات الباقية | السنة المتوقعة للنفاذ | الاستهلاك | النسبة للإنتاج |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ١ | ٢ | ٣ | ٤ | ٥ | ٦ | ٧ |
| ١٩٧٠ | ١١١,٣ | ٠,٠٧٢ | ١٥٤٦ | ٣٥١٦ | ٠,٠٧٢ | ١ |
| ١٩٧١ | ١٠٥,١ | ٠,٠٧٢ | ١٤٥٩ | ٣٤٣٠ | ٠,٠٧٢ | ١ |
| ١٩٧٢ | ٩٩,١ | ٠,٠٦٠ | ١٦٥١ | ٣٦٢٣ | ٠,٠٦٠ | ١ |
| ١٩٧٣ | ٩٣,٥ | ٠,٠٧٤ | ١٢٦٤ | ٣٢٣٧ | ٠,٠٧٤ | ١ |
| ١٩٧٤ | ٩١,٣ | ٠,٠٣٧ | ٢٤٦٧ | ٤٤٤١ | ٠,٠٣٧ | ١ |
| ١٩٧٥ | ٨٩,٠٠ | ٠,٠٣٣ | ٢٦٩٨ | ٤٦٧٣ | ٠,٠٣٣ | ١ |
| ١٩٧٦ | ٨٠,١ | ٠,١٠٤ | ٧٧١ | ٢٧٤٧ | ٠,١٠٤ | ١ |
| ١٩٧٧ | ٧١,٢ | ٠,٣٥٣ | ٢٠٢ | ٢١٧٩ | ٠,٣٥٣ | ١ |
| ١٩٧٨ | ٦٩,٠٠ | ٠,٥٨٣ | ١١٨ | ٢٠٩٦ | ٠,٥٨٣ | ١ |
| ١٩٧٩ | ٦٦,٨ | ٠,٨٦٣ | ٧٧ | ٢٠٥٦ | ٠,٨٦٣ | ١ |
| ١٩٨٠ | ٦٦,١ | ١,٦١٦ | ٤١ | ٢٠٢١ | ١,٦١٦ | ١ |
| ١٩٨١ | ٦٥,٩ | ١,٨٤٤ | ٣٦ | ٢٠١٧ | ١,٨٤٤ | ١ |
| ١٩٨٢ | ١٥٩,٨ | ٢,٠٢٣ | ٧٩ | ٢٠٦١ | ٢,٠٢٣ | ١ |

| ١ | ٢ | ٣ | ٤ | ٥ | ٦ | ٧ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ١٩٨٣ | ١٥٨,١ | ٢,٣٧٦ | ٦٧ | ٢٠٥٠ | ٢,٣٧٦ | ١ |
| ١٩٨٤ | ١٧٣,٤ | ٣,٠٤٦ | ٥٧ | ٢٠٤١ | ٣,٠٤٦ | ١ |
| ١٩٨٥ | ١٧٥,٧ | ٣,٧٣٣ | ٤٧ | ٢٠٣٢ | ٣,٧٣٣ | ١ |
| ١٩٨٦ | ١٩٨,٣ | ٤,٣٠٦ | ٤٦ | ٢٠٣٢ | ٤,٣٠٦ | ١ |
| ١٩٨٧ | ٢٢١,٠ | ٤,٧٨٣ | ٤٦ | ٢٠٣٣ | ٤,٧٨٣ | ١ |
| ١٩٨٨ | ٢٥٠,٥ | ٥,١٧٦ | ٤٨ | ٢٠٣٦ | ٥,١٧٦ | ١ |
| ١٩٨٩ | ٢٧٢,٠ | ٥,٨٨٩ | ٤٦ | ٢٠٣٥ | ٥,٨٨٩ | ١ |
| ١٩٩٠ | ٢٧٥,٤ | ٦,١١٠ | ٤٥ | ٢٠٣٥ | ٦,١١٠ | ١ |
| ١٩٩١ | ٢٧٨,٨ | ٦,٩٩٣ | ٤٠ | ٢٠٣١ | ٦,٩٩٣ | ١ |
| ١٩٩٢ | ٢٩٣,٥ | ٧,٥٦٤ | ٣٩ | ٢٠٣١ | ٧,٥٦٤ | ١ |
| ١٩٩٣ | ٤٨٧,٣ | ٨,٩٧٢ | ٥٤ | ٢٠٤٧ | ٨,٩٧٢ | ١ |
| ١٩٩٤ | ٥٠٥,٥ | ٩,٥١٤ | ٥٣ | ٢٠٤٧ | ٩,٥١٤ | ١ |
| ١٩٩٥ | ٥٠٥,٥ | ٩,٨٩٨ | ٥١ | ٢٠٤٦ | ٩,٨٩٨ | ١ |
| ١٩٩٦ | ٦٨٢,٢ | ١٠,٣٦٤ | ٦٦ | ٢٠٦٢ | ١٠,٣٦٤ | ١ |
| ١٩٩٧ | ٧٥٤,٨ | ١٠,٤٨ | ٧٢ | ٢٠٦٩ | ١٠,٤٨ | ١ |

## ٨- الإنتاج والاستهلاك :

ينتج الغاز الطبيعى من ثلاث مناطق هى الدلتا، الصحراء الغربية وخليج السويس. ويوضح الجدول التالى (٧/٤) تطور إنتاج الغاز الطبيعى طبقا لإنتاج كل من هذه المناطق، حيث يتضح من الجدول أن أهم منطقة لإنتاج الغاز الطبيعى هى الدلتا التى يمثل إنتاجها ٤٦٪ من جملة الإنتاج عام ١٩٩٥ . وقد شهدت السنوات الأخيرة زيادة كبيرة فى إنتاج الغاز الطبيعى نتيجة لزيادة أنشطة البحث والتنقيب، ومن ثم زيادة الاكتشافات بالإضافة إلى تنفيذ العديد من المشروعات لتنمية حقول الغاز المكتشفة واستغلال الغازات المصاحبة لحقول زيت البترول وربطها بمناطق الاستهلاك عبر الشبكة القومية للغازات، وقد تم توقيع اتفاقية مع تركيا عام ١٩٩٦ لتصدير حوالى ٨ مليون طن سنويا من الغاز الطبيعى المسال بحلول عام ٢٠٠٠ ، وكذلك مع الأردن بشأن تصدير الغاز بواسطة خط أنابيب عبر شبه جزيرة سيناء يبلغ طوله نحو ٢٧٠

كيلومترا ويمتد من عيون موسى بالضفة الشرقية لخليج السويس إلى المنطقة المحيطة بميناء العقبة الأردنى وبداية المشروع بطاقة ١,٦ مليون طن سنويا عام ٢٠٠١ ، تتزايد تدريجيا حتى تصل إلى ٣,٢ مليون طن سنويا.

**جدول (٧/٤) : تطور إنتاج الغاز الطبيعى طبقا لمناطق إنتاجه**
**فى الفترة من ١٩٧٠ - ١٩٩٥ (مليون طن مترى)**

| السنة | الدلتا | | خليج السويس | | الصحراء الغربية | | الاجمالى |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | الكمية | نسبة مئوية | الكمية | نسبة مئوية | الكمية | نسبة مئوية | |
| ١٩٧٠ | ٠,٠٧٢ | ١٠٠ | — | — | — | — | ٠,٠٧٢ |
| ١٩٧٥ | ٠,٠٣٣ | ١٠٠ | — | — | — | — | ٠,٠٣٣ |
| ١٩٨٠ | ٠,٨٩٠ | ٥٥,١ | — | — | ٠,٧٢٦ | ٤٤,٩ | ١,٦١٦ |
| ١٩٨٥ | ٢,٢٤٦ | ٦٠,٢ | ٠,٥٦٦ | ١٥,٢ | ٠,٩٢١ | ١٦,٦ | ٣,٧٣٣ |
| ١٩٩٠ | ٣,٩٢٠ | ٦٤,٢ | ١,١٦٧ | ١٩,١ | ١,٠٢٣ | ١٦,٧ | ٦,١١٠ |
| ١٩٩٥ | ٤,٥٨٠ | ٤٦,٣ | ٢,٠٢٨ | ٢٠,٥ | ٣,٢٨٩ | ٣٣,٢ | ٩,٨٩٨ |

## ٩- تنمية الغاز فى مصر طبقا لتقارير وكالة الطاقة الأمريكية :

نتيجة لزيادة الطلب المحلى على المنتجات البترولية فإن مصر تتبنى سياسة استبدال الغاز الطبيعى بدلا من زيت البترول كوسيلة لخفض استهلاك زيت البترول وزيادة صادراته.

قطاع الغاز الطبيعى فى مصر ينمو بسرعة، فقد تضاعف الإنتاج فى ما بين ١٩٩٩ ، ٢٠٠٣ . متوسط الإنتاج كان ١,٦ مليار قدم مكعب فى اليوم فى أوائل ١٩٩٩ ، وزاد إلى ٢,٣ مليار قدم مكعب فى اليوم فى نهاية ذلك العام، ووصل إلى ٣ مليار قدم مكعب فى اليوم فى ٢٠٠٢ ، بمتوسط حوالى ٣,٣ مليار قدم مكعب فى اليوم فى ٢٠٠٣ ، وقد يصل إلى ٥ مليار قدم مكعب فى اليوم فى ٢٠٠٧ .

احتياطيات الغاز المؤكدة زادت كثيرا فى السنين القليلة الماضية. معظم الاكتشافات على طول المنطقة بين ساحل البحر الأبيض والدلتا وبعد فترة زمنية مكثفة من الاستكشاف وصل احتياطى الغاز المؤكد فى مصر إلى ٦٢ تريليون قدم مكعب فى نوفمبر ٢٠٠٣ ، وذلك مقارنة مع ١٥ تريليون قدم مكعب فى نيناير ١٩٩٣ .

معظم هذه الزيادة كانت نتيجة الاستكشافات الجديدة للغاز فى المنطقة الساحلية بين البحر الأبيض والدلتا، وتزداد فى الصحراء الغربية. كذلك فإن النشاط فى المياه البحرية يمكن أن يزداد فى المستقبل. فى ١٧ فبراير ٢٠٠٣ وقعت كل من مصر وقبرص اتفاقية لترسيم الحدود البحرية، حيث تقصد مصر زيادة الاستكشافات فى مجال البترول والغاز فى مياه البحر الأبيض؛ لذلك فإنه من المتوقع أن احتياطيات الغاز فى مصر سوف تزداد بسبب استمرار المشروعات الاستكشافية. فى منطقة دلتا النيل التى برزت كحوض عالمى للغاز، حيث الحقل البحرى الجارى تنميته فى شمال بورفؤاد، جنوب التمساح، فوكه (Wakah) فى الصحراء الغربية، حقل الأبيض من حقول الغاز الهامة التى تحت التنمية .. وعموما. معظم إنتاج الغاز الطبيعى فى مصر يأتى من حقلين، وهما أبو ماضى (الذى يعمل منذ ١٩٧٠)، وبدر الدين (منذ ١٩٩٠) . وأبو قير هو ثالث الحقول الكبيرة ومثل أبو ماضى يعتبر تام النضج والتنمية.

تنمية حقل غاز التمساح تكلفتها ٧٠٠ مليون دولار وقد بدأ الإنتاج فى عام ١٩٩٩ الماضى. تقدر احتياطيات غاز التمساح عند ٣,٩ تريليون قدم مكعب واتفاقية مبيعات الغاز هى بمقدار ٣٥ قدما مكعبا فى اليوم كمرحلة أولى، تزاد إلى ٤٨٠ مليون قدم مكعب فى اليوم فى ٢٠٠٣ . توجد منطقتان فى الصحراء الغربية – الأبيض وخالدة – أظهرا كذلك اتجاهات كبيرة نحو زيادة إنتاج الغاز فى مصر.

الزيادة السريعة فى احتياطيات الغاز الطبيعى فى مصر وفى الإنتاج قد شجع الخطط الطموحة لتصدير الغاز (إما بواسطة خطوط المواسير أو بواسطة ناقلات الغاز الطبيعى المسال) إلى دول مثل تركيا، إسرائيل، الأردن، والأراضى الفلسطينية. الوكالة الدولة للطاقة (IEA) قدرت أن مصر يمكن أن تستكمل خمسة مشروعات رئيسية للغاز الطبيعى المسال بحلول عام ٢٠٠٧ وهى كالآتى :

| المكان | البدء | التكلفة (مليار دولار) | الطاقة (مليون طن/العام) | الحالة |
|---|---|---|---|---|
| إدكو | ٢٠٠٥ | ١,٣٥ | ١ : ٣,٦ | تحت الإنشاء |
| | ٢٠٠٦ | ٠,٥٥ | ٢ : ٣,٦ | تحت الإنشاء |
| | ٢٠٠٧ | ١,٥ | ٣ : ٤ | مخطط |
| دمياط | ٢٠٠٤ | ١,٠٠ | ١ : ٥ | مخطط |
| | ٢٠٠٦ | ١,٠٠ | ١ : ٤ | مخطط |

كذلك فإن مصر تخطط لتصدير الغاز إلى الأردن. فى أكتوبر ١٩٩٧، وقعت كل من الهيئة المصرية العامة للبترول والشركة العالمية للبترول فى مصر (IEOC) اتفاقا بمقتضاه تقوم (IEOC) بإنشاء خط مواسير غاز بطاقة مليار قدم مكعب فى العام وبتكلفة ٦٠ مليون دولار، حيث يمتد خط المواسير من دلتا النيل ثم أسفل قناة السويس إلى شمال سيناء. وفى يناير ١٩٩٧ بدأت مصر والأردن المباحثات عن إمكانية مرور خط مواسير الغاز عبر سيناء وتحت مياه البحر الأحمر إلى ميناء مدينة العقبة الأردنية فى شمال الأردن. فى نوفمبر ١٩٩٨، وقعت BP (Amoco) اتفاقية مع مصر والأردن لبناء خط مواسير غاز بطاقة صغيرة نسبيا عبر سيناء ثم أسفل مياه خليج العقبة إلى الأردن. فى يناير ٢٠٠٣ تم تدشين وافتتاح خط مواسير الغاز بطول ٢٧٠ كيلومترا إلى الأردن بحضور الرئيس مبارك والملك عبد الله. وتنوى مصر امتداد خط المواسير إلى سوريا، ثم إلى تركيا، ولبنان، ويحتمل بعد ذلك إلى قبرص.

خط الغاز الطبيعى «خط مواسير السلام» (The Peace Pipeline) إلى إسرائيل تم البدء فيه بالتزامن مع عملية السلام فى الشرق الأوسط أثناء حكومة بنيامين نتنياهو، كان هناك أمل فى المشروع بعد انتخاب إيهود باراك فى مايو ١٩٩٩، ولكن تعثرت الجهود ثانيا مع بداية الانتفاضه الثانية فى سبتمبر ٢٠٠٠ . لقد أكملت شركة (ENi) الإيطالية خط المواسير الذى يمر من الساحل الشمالى للبحر الأبيض المتوسط فى مصر إلى العريش، والذى يمكن إدراكه كنقطة بداية لخط مواسير التصدير لإسرائيل. وقد أعلنت (EIA) أن الاتصالات بين مصر وإسرائيل لامتداد الخط قد استؤنفت فى ٢٠٠٣ .

**١٠- دور مصر فى خطوط نقل البترول والغاز:**

بالإضافة إلى دورها كأحد الدول المصدرة للبترول، فإن مصر لها أهمية استراتيجية بالنسبة لمصادر الطاقة فى الشرق الأوسط، ذلك لأنها تسيطر على طريقين لتصدير الزيت من الخليج الفارسى وهما قناة السويس وخط مواسير سوميد. وهذا يتضمن تدفق ٣,٥ مليون برميل فى اليوم (١,١ مليون برميل فى اليوم خلال قناة السويس، ٢,٤ مليون برميل فى اليوم خلال خط مواسير سوميد) حيث موقع الانتهاء للرحلة هو إما أوروبا أو الولايات المتحدة. إن إغلاق قناة السويس و/أو خط سوميد سوف يجبر ناقلات البترول للذهاب حول الطرف الجنوبى لأفريقيا (رأس الرجاء

الصالح)، بما يعنى زيادة زمن الرحلة وزيادة التكاليف. مثل هذا الاحتمال غير وارد حاليا ولكنه يمثل خطرا جيوبولوتيكيا ضعيف الاحتمال.

هيئة قناة السويس مستمرة فى مشروعات تطوير وتوسيع القناة، ذلك رغم أن معدل عبور ناقلات البترول وكذلك العائدات قد انخفضت خلال العقد الأخير نتيجة لخطوط المواسير المنافسة واستخدام الطرق البديلة، مثل جنوب أفريقيا. تم تعميق القناة بحيث إنه يمكنها قبول ناقلات البترول الكبيرة، ولكنها سوف تحتاج إلى زيادة العمق إلى ٦٨ أو ٧٠ قدما لاحتواء ناقلات البترول الضخمة بحمولتها الكاملة. كذلك فإن هيئة قناة السويس تقدم خصما بنسبة ٣٥٪ لناقلات الغاز الطبيعى المسال وكذلك بعض الخصومات الأخرى لناقلات البترول؛ وذلك لزيادة حركة الناقلات إلى المستويات السابقة.

خط مواسير سوميد هو بديل لقناة السويس لنقل البترول من منطقة الخليج الفارسى إلى البحر الأبيض المتوسط. خط المواسير بطول ٢٠٠ كيلومتر من العين السخنة على خليج السويس إلى سيدى كرير على البحر الأبيض المتوسط. طاقة خط مواسير سوميد هى ٢,٥ مليون برميل فى اليوم. جارى دراسة امتداد هذا الخط، وهذا الامتداد سوف يعبر البحر الأحمر من العين السخنة على خليج السويس إلى أقرب نقطة على ساحل السعودية قريبا من شرم الشيخ (جزيزة تيران)، ثم عندئذ يستمر للربط مع خط المواسير الرئيسى السعودى من الشرق إلى الغرب عند ينبع. يتكون سوميد من خطين مواسير كلٌ بقطر ٤٢ بوصة وهو ملك الشركة العربية لخط مواسير البترول (Arab Petrolium Pipeline)، وهى مجموعة شركات مصرية، سعودية، إماراتية (أبوظبى) وثلاث شركات كويتية، وشركة قطرية.

أعلنت كل من مصر وليبيا الخطط لإنشاء خط مواسير لنقل الزيت الخام الليبى من طبرق إلى الاسكندرية لتكريره وبيعه فى مصر. يتوقع أن يتكلف الخط حوالى ٣٠٠ مليون دولار، ويستغرق تنفيذه من ٣ إلى ٤ سنوات. فى المقابل يمكن أن تقوم مصر بتصدير ٥٠٠ مليون قدم مكعب من الغاز الطبيعى إلى ليبيا.

# الباب الثانى

# الوقود الحفرى وتلوث البيئة

## الفصل الثامن

# الوقود الحفرى وتلوث البيئة

### ١ - مقدمة :

إن نواتج احتراق الوقود الحفرى والذى يشمل الفحم، والبترول، والغاز الطبيعى تعتبر من أكبر الأضرار البيئية، والتى تهدد الكائنات الحية . فقد ينتج عن استخدامه فى عام ١٩٨٥ حوالى ٢٥ مليار طن من غازات $CO_2$، $CO$ ، $SO_2$ وأكاسيد النتروجين والسناج والرماد. وتنتج عن ذلك تلوث الهواء وسقوط المطر الحامضى وتساقط الثلوج (البرد) الحامضية، وكذلك ظهور الضباب الدخانى (Smog) والذى يعيق الرؤية ويسبب الاختناق. سقوط المطر الحامضى والذى يتسرب بدوره إلى التربة بسبب التسمم للمحيط الحيوى الذى يشمل الإنسان والحيوان والنبات.

أما النفط المراق أو المتسرب فيلوث مصادر المياه الجوفية، وشواطئ البحار ومنه إلى الأحياء والنباتات البحرية ثم إلى الإنسان.

ولنواتج التلوث بحرق الوقود الحفرى تأثيرات خطيرة على البشر، فقد وجد أن نسبة كرات الدم الحمراء لبعض سائقى عربات النقل بلغت ١٢ ٪ بسبب أول أكسيد الكربون. هذا إلى أنه بالإضافة إلى التكاليف الناجمة عن أخطار تلوث البيئة وكذلك الأمطار الحامضية علاوة على حالات التسمم والاختناق التى يسببها انبعاث أول أكسيد الكربون، حيث تبتلغ الأراضى المرتبطة بالتلوث حوالى من ٧ – ١١ ٪ من جملة الإنفاق الطبى طبقا للإحصائيات الحديثة.

### ٢ - الوقود الحفرى والمناخ :

لقد كانت نسبة $CO_2$ فى توازن مستمر مع نسبة $O_2$ فى الهواء حيث تقوم النباتات الخضراء بعمليات التمثيل الكلوروفيلى واستهلاك $CO_2$ وإخراج $O_2$ اللازم لاستمرار الحياة؛ وهذا ما سخره الله للإنسان فى هذا الكون.

ومع استخدام الوقود الحفرى وحرقه أخذت نسبة $CO_2$ فى الجو تتزايد إلى أن تضاعفت مرات ومرات فى كثير من المناطق الصناعية. وأخيرا ظهر للعالم خطورة تزايد انبعاثات $CO_2$ فى الغلاف الجوى والذى يؤدى إلى ارتفاع مستمر فى درجة حرارة الجو المحيط بالكرة الأرضية، ذلك لأنه يحد من خروج الإشعاع الشمسى (الساقط على سطح الأرض) مرة أخرى إلى الفضاء الخارجي. وأن ما يحدث هو شبيه بفكرة البيت الزجاجى (الصوبة) الذى تستزرع فيه النباتات فى الأجواء الباردة لاحتفاظه بالحرارة.

سوف يتم إلقاء الضوء على ملوثات الغلاف الجوى من خلال :

- التعرف على مناطق الغلاف الجوى : (Atmospheric Structure) .
- ظاهرة الدفئيات أو الاحتباس الحرارى (Green House Effect) .
- تغير المناخ العالمي وعواقبه على البحار والشواطئ المصرية.
- تكون ونقص الأوزون فى الإستراتوسفير .
- البترول فى ظل بروتوكول كيوتو :
- الأثر البيئى لمصادر الطاقة الجديدة.

**٣ - التعرف على مناطق الغلاف الجوى :**

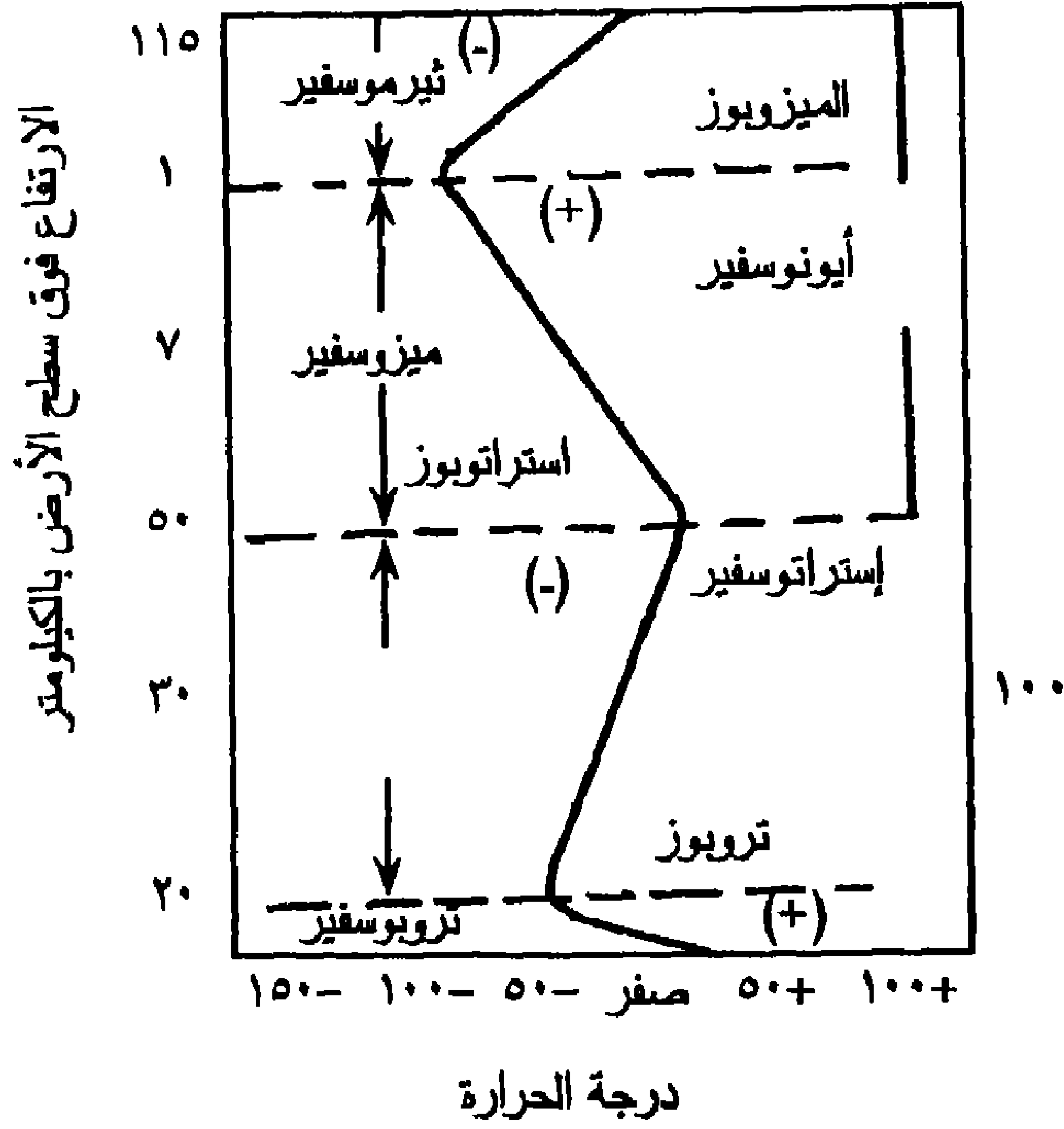
المجال الجوى الذى يمتد إلى حوالى ٥٠٠ كيلومتر فوق سطح البحر، يمكن تقسيمه إلى أربع مناطق رئيسية، والتى تختلف كثيرا فى درجات الحرارة حتى خلال كل من تلك المناطق. بعض الخواص الهامة لمعظم المناطق الجوية الأربع كالآتى:

أ - **التروبوسفير (Troposphere)** : وهو الغلاف الجوى السفلى (حيث تتناقص درجة الحرارة بالارتفاع عن سطح البحر .

ب- **الإستراتوسفير (Stratosphere)** : وهو طبقة الغلاف الجوى على ارتفاع من ١٥ - ٥٠ كيلومترا، فوق التروبوسفير ودون الاوسط (الميزوسفير) .

جـ- **الميزوسفير**: وهى طبقة الغلاف الجوى المتوسط بين الاستراتوسفير والأيونوسفير .

د - **الثيرموسفير** : الغلاف الحرارى حيث ترتفع درجة الحرارة بالارتفاع (بين ٨٥ إلى ٥٠٠ كيلومتر).




**شكل (٨/١) : يوضح معظم المناطق الجوية مع ظروف الضغط ودرجة الحرارة**

**جدول (٨/١) : خواص المناطق الرئيسية للمجال الجوى**

| المنطقة | الارتفاع فوق سطح البحر بالكيلومتر | مجال درجة الحرارة °م | المواد الكيماوية الرئيسية الموجودة |
|---|---|---|---|
| التروبوسفير | صفر - ١١ | ١٥ – ٥٦°م | $H_2O$، $CO_2$، $N_2$، $O_2$ |
| الاستراتوسفير | ١١ – ٥٠ | -٥٦°م إلى – ٢°م | أوزون ($O_3$) |
| الميزوسفير | ٥٠ - ٨٥ | – ٢°م إلى – ٩٢°م | NO، $O_2$ |
| الثيرموسفير | ٨٥ - ٥٠٠ | – ٩٢°م إلى - ١٢٠٠°م | $NO + O + O_2$ |

**التروبوسفير :**

التروبوسفير هو المنطقة الأقرب إلى سطح الأرض والتى تمتد حتى ارتفاع ١١ كيلومترا. الحد العلوى يمكن أن يتغير، بعدة كيلومترات طبقا لدرجة الحرارة، وطبيعة سطح الأرض وبعض العوامل الأخرى. يشكل التروبوسفير حوالى أكثر من ٧٠٪ من الكتلة الجوية. مكونات الهواء فى هذه المنطقة تظل ثابتة إلى حد كبير فى عدم وجود أى ملوثات مؤثرة فى الهواء الجوى. وهذا يعود غالبا للاضطراب والدوران المستمر للكتل الهوائية نتيجة تيارات الحمل الناتجة عن معدلات التفاوت فى التسخين والتبريد بين خط الاستواء والقطبين. كثافة الهواء فى هذه المنطقة تتناقص باستمرار مع الارتفاع. التروبوسفير يحتوى على معظم الماء والسحاب، الأجسام الصغيرة فى الجو. درجة حرارة الهواء فى التروبوسفير تنخفض مع زيادة الارتفاع عن سطح الأرض، من درجة حرارة سطح الأرض حتى -٥٦°م . يمكن ملاحظة أن درجة الحرارة تبدأ فى الزيادة مع زيادة الارتفاع فجأة فى الطبقة الضيقة الانتقالية أعلا التروبوسفير والتى تعرف بالتروبوبوز والتى عادة تكون على ارتفاع ١٠ إلى ٢٠ كيلومترا. درجة حرارة منطقة التروبوبوز تكون عند أدناها عند خط الاستواء.

**الاستراتوسفير :**

المنطقة فوق التروبوبوز تسمى الاستراتوسفير، فى هذه المنطقة تستمر درجة الحرارة فى الارتفاع حتى تصل إلى - ٢°م عند ارتفاع ٥٠ كيلومترا عن سطح البحر. هذا الدفء يرجع إلى امتصاص أشعة الشمس فوق البنفسجية بواسطة الأوزون والذى يصل تركيزه فى هذه المنطقة ما بين ١ إلى ٥ جزء فى المليون بالنسبة للحجم. الهواء فى هذه المنطقة جاف جدا والسحب وتيار الحمل من التروبوسفير طبيعى لا تخترق نحوها. وجود الأوزون فى الاستراتوسفير يعمل كدرع حماية، وذلك بحماية الحياة على سطح الأرض من التأثيرات الضارة لإشعاعات الشمس فوق البنفسجية . هذا بالإضافة إلى أنه يعمل كمصدر حرارى لفصل الاستراتوسفير الساكن عن التروبوسفير المضطرب. بسبب الطبيعة الساكنة للإستراتوسفير فإن الجزيئات والجسيمات فى المنطقة لها زمن إقامة طويل. وهذا له مغزى وهام من وجهة نظر التلوث الجوى، ذلك لأن أى تلوث يصل إلى هذه المنطقة قد يسبب مخاطر كونية خطيرة، مقارنة لتأثيرها فى التروبوسفير والذى هو أكثر كثافة وأكثر اضطرابا.

المنطقةفوق الاستراتوسفير مباشرة (فوق ٥٠ كيلومترا ارتفاع) تسمى الاستراتوبوز (Stratopause) وهى طبقة الانتقال الثانية التى هى دافئة نسبيا. وهى ليست باردة أكثر من سطح الأرض. وهى تعكس الموجات الصوتية من الأرض ثانيا إلى السطح.

**الميزوسفير :**

الميزوسفير هى المنطقة فوق الاستراتوسفير وتمتد إلى ارتفاع ٨٥ كيلومترا فوق سطح البحر. فى هذه المنطقة تعود درجة الحرارة ثانيا إلى الانخفاض مع زيادة الارتفاع، وهذا يرجع إلى المستويات المنخفضة نسبيا فى الأوزون والمكونات الأخرى التى يمكنها امتصاص الإشعاعات فوق البنفسجية من الشمس. درجة الحرارة عند أعلا الميزوسفير تصل إلى – ٩٢°م .

فوق الميزوسفير مباشرة توجد طبقة انتقالية أخرى تسمى الميزوبوز والتى هى الطبقة ذات أدنى حرارة فى الجو (أى حوالى – ١٠٠°م)

**الثيرموسفير :**

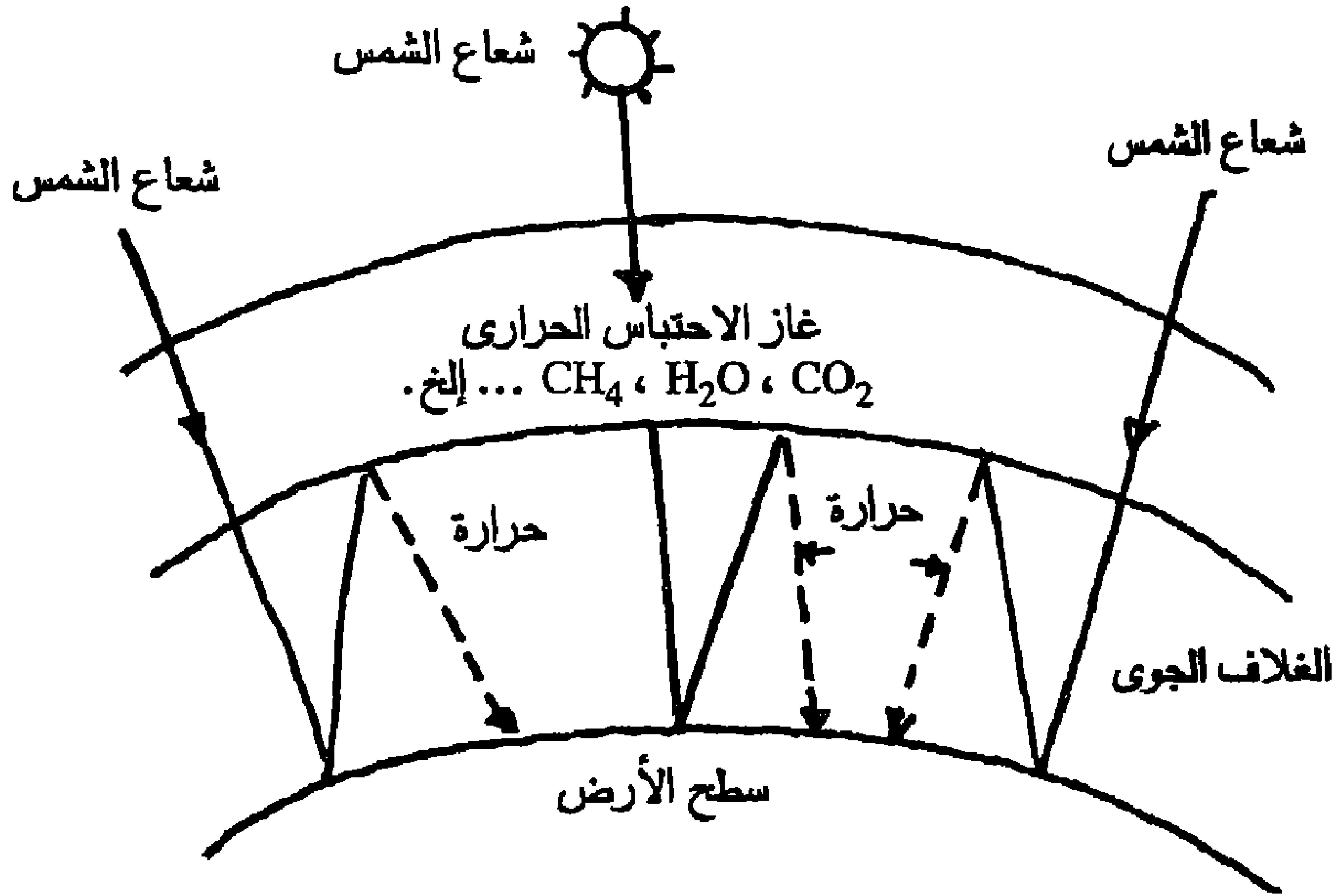
الثيرموسفير هى المنطقة التى فوق الميزوسفير مباشرة، حيث ترتفع درجة الحرارة بسرعة عالية مع زيادة الارتفاع. أقصى درجة حرارة توجد فى هذه المنطقة هى حوالى ١٢٠٠°م. تتصف هذه المنطقة بالضغط المنخفض والكثافة المنخفضة. الغازات الجوية الموجودة فى هذه المنطقة هى الأكسجين وأكاسيد النتروجين، حيث تمتص الإشعاعات الشمسية فى المنطقة فوق البنفسجية البعيدة حيث يحدث التأين. المنطقة فوق الاستراتوسفير عند الارتفاع من ٥٠ كيلومترا إلى ١٠٠ كيلومترا تسمى الأيونوسفير (Ionosphere) فى هذه المنطقة توجد الأيونات الموجبة مثل $O_2^+$ ، $O^+$ ، $NO^+$ .... إلخ والإلكيترونات بمستويات عالية.

هذه الأيونات الحاملة للشحنة تستمر لفترة زمنية طويلة، بدون حدوث تعادل متبادل، بسبب ظروف النقاء العالية الموجودة فى المنطقة.

كل من التروبوسفير، الاستراتوسفير والميزوسفير هم ذوات مكونات واحدة تقريبا من وجهه نظر تلوث الهواء، التروبوسفير له أهمية خاصة

**٤ - ظاهرة الدفئيات أو الاحتباس الحرارى :**

ظاهرة الاحتباس للإشعاع الحرارى من الشمس بواسطة جو الأرض.




**شكل (٨/٢) : تأثير الصوبة (الاحتباس الحرارى)**

يتم تسخين الأرض بواسطة ضوء الشمس، وبعض من الحرارة التى تمتصها الأرض يتم إشعاعها ثانيا فى الفضاء. ولكن بعض الغازات فى الغلاف الجوى السفلى تعمل مثل الزجاج فى الصوبات الزراعية، حيث تسمح لأشعة الشمس (فى المجال من ٣٠٠ إلى ٢٥٠٠ نانوميتر أى قريبا من الأشعة فوق البنفسجية، المرئية وقريبا من المنطقة تحت الحمراء، حيث ترشح الإشعاعات فوق البنفسجية الخطرة أى < ٣٠٠ نانوميتر، ولكن لا تسمح للأرض أن تعيد إشعاع الحرارة إلى الفضاء . بمعنى آخر، هذه الغازات فى الجو تكون شفافة وناقلة لأشعة الشمس القادمة نحو الأرض ولكنها تمتص الأشعة تحت الحمراء بقوة، والتى تبعث بها الأرض ثانية كحرارة. جزء من الحرارة الذى يحتجز فى هذه الغازات الجوية يتم انبعاثه ثانيا إلى سطح الأرض. النتيجة النهائية هى تسخين سطح الأرض بهذه الظاهرة، والتى تسمى تأثيرات الصوبة أو الاحتباس الحرارى. الغازات المسئولة عن هذا الاحتباس الحرارى هى ثانى أكسيد الكربون ($CO_2$) وبخار الماء ($H_2O$) وغاز الميثان ($CH_4$)، وكذلك مادة الكلوروفلوروكربون .

بخار الماء يمتص الأشعة تحت الحمراء بقوة فى المجال من ٤٠٠٠ إلى ٨٠٠٠ نانوميتر، $CO_2$ فى المجال من ١٢٠٠٠ إلى ١٦٠٠٠ نانوميتر. الإشعاعات فى المجال من ٨٠٠٠ إلى ١٢٠٠٠ نانوميتر تمر ولا تمتص. هذه تعرف بنافذة الغلاف الجوى (Atmospheric Window) .

$CO_2$ من حرق الوقود، وحرق وقود السيارات يمثل ٣٠٪ من $CO_2$ . $CH_4$ ينطلق من مناجم الفحم، تحلل المواد العضوية وتحلل المخلفات الآدمية والحيوانية.

الكلوروفلوركربون المستخدم فى التبريد وفى أجهزة التكييف للسيارات ... إلخ. وغازات الاحتباس الحرارى وخاصة $CO_2$، وبخار الماء هى المسئولة عن استمرار الدفء لكوكب الأرض، وبذا استمرار الحياة على سطح الأرض. فى حالة قلة غازات الصوبة بدرجة كبيرة أو فى حالة عدم وجودها فى جو الأرض، عندئذ يكون متوسط الحرارة على الأرض عند مستوى أقل من الصفر. ولكن فى حالة زيادة تركيز غازات الصوبة، فإنه يمكن أن تحجز كمية كبيرة من الحرارة، والتى يمكن أن تهدد الحياة على الأرض. فمثلا نرى أن وجود $CO_2$ فى جو الكوكب فينوس (Venus) حوالى ٦٠٠٠٠ ضعف الموجود فى جو الأرض؛ لذلك فإن متوسط درجة الحرارة للكوكب فينوس هو حوالى ٤٤٥°م وبذا فإن الحياة هناك تكون مستحيلة.

لقد قدر أن المحتوى الجوى من $CO_2$ قد زاد بحوالى ٢٥٪ خلال القرنين الماضيين. وهذا هو السبب فى ارتفاع درجة حرارة الكرة الأرضية (حوالى ٠,٥ درجة مئوية).

نظرا لأن تركيز غازات الاحتباس الحرارى فى زيادة مستمرة بسبب القضاء على الغابات، وزيادة الأنشطة الصناعية،وزيادة الحرق للوقود الحفرى، وأنشطة المناجم، وزيادة عادم احتراق السيارات التى تتزايد أعدادها، وكذلك الأنشطة الأخرى بفعل الإنسان فإنه يوجد احتمال متزايد حول زيادة حرارة كوكب الأرض.

بعض العلماء يخشى أنه فى حالة عدم اتخاذ الاحتياطيات اللازمة فإن تركيز غازات الصوبة فى الجو يمكن أن يتضاعف خلال (٥٠ – ١٠٠) سنة القادمة. فى حالة حدوث ذلك فإن متوسط درجة حرارة كوكب الأرض قد تزداد لحوالى (٤ – ٥°م) وذلك سوف يزيد تبخر المياه من المسطحات المائية والذى قد يؤثر على التغيرات المناخية طبقا لإطار تكون السحاب. فمثلا السحب الكثيفة المنخفضة قد

تسبب البرودة بينما تكون السحب العالية الرقيقة لها تأثير حار بسبب زيادة تأثير الاحتباس الحرارى.

الإسقاطات من نموذج المحاكاة بالكمبيوتر مع اعتبار التغيرات المناخية التى يمكن أن تحدث بسبب زيادة دفء الكرة الأرضية أظهرت سيناريوهات مزعجة. حتى أن الارتفاع فى درجة حرارة سطح الأرض ١,٥°م يمكن أن يؤثر سلبا على إنتاج الغذاء فى العالم. لذلك فإن مناطق زراعة القمح فى الجزء الشمالى قد تتغير من الاتحاد السوفيتى وكندا إلى المناطق القطبية أى من التربة الخصبة إلى التربة الفقيرة قريبا من القطب الشمالى. كذلك مع محاكاة الكمبيوتر أظهرت التأثيرات التالية بسبب دفء الكرة الأرضية وهى :

إذابة جبال الجليد القطبية، الساحات الجافة تصبح أكثر جفافا، وانخفاض شديد فى إنتاج الغذاء، وخاصة فى الأراضى ما بين ٣٥° إلى الشمال وإلى الجنوب من مدار السرطان، زيادة فى الأمراض ، كما أن الشتاء يكون قصيرا وأكثر دفئا وأكثر رطوبة، بينما الصيف يكون طويلا وأكثر جفافا وسخونة وخاصة فى وسط المساحات القارية. كذلك فإن دفء الأرض قد يسبب زيادة التمدد الحرارى للمحيطات وإذابة الجليد، والذى ينتج عنه زيادة فى ارتفاع منسوب سطح البحر ما بين ٢٠ سم إلى ١,٥ متر وذلك فى الجزء الأخير من القرن الواحد والعشرين؛ لذلك فإن كثيرا من المدن الساحلية يمكن أن تصبح معرضة لهذا الخطر، كما أن الدفاع ضد ارتفاع منسوب سطح البحر وتمدد المحيطات صعب جدا ومكلف ولا يطيقه الكثير من دول العالم.

حتى لو كان ارتفاع درجة حرارة الأرض ١,٥°م فإن ذلك يحتمل أن يسبب الفيضانات والأعاصير المصحوبة بالرعد والزوابع، بالإضافة إلى ارتفاع منسوب مياه البحر بسبب إذابة جبال الجليد وإغراق المدن الساحلية.

إن ارتفاع درجة الحرارة يحدث ليتطابق تماما مع زيادة معدل استخدام الوقود الحفرى منذ منتصف القرن التاسع عشر.

إطلاق الإنسان لثانى أكسيد الكربون المسبب للاحتباس الحرارى والذى هو واحد فقط من ما يسمى بغازات الصوبة والتى تعمل على احتباس الحرارة فى الغلاف الجوى للأرض أو منعها من الإشعاع إلى الفضاء وهو أقل تأثيرا من الثلاثة المتهمين، حيث الأكثر تأثيرا هو بخار الماء، والتالى هو غاز الميثان، الذى يعتبر ٢٠ ضعفا أكثر

تأثيرا عن ثانى أكسيد الكربون بالنسبة لدفء الأرض. والميثان هو منتج ثانوى من الزراعة وتحلل الحيوانات والمخلفات العضوية(*).

توجد شواهد لدفء الأرض حيث إنه مسبب لإذابة رقائق ثلجية فى الشمال، مرسلا كميات ضخمة من المياه العذبة نحو شمال الأطلنطى.

لقد زاد دفء الأرض خلال العشرين عاما الماضية. لقد كان شهر مايو ٢٠٠٣ أكثر الأزمنة ارتفاعا فى درجة الحرارة وذلك منذ عام ١٩٨٨ .

من بين توقعات ارتفاع منسوب سطح البحار فى هذا القرن، أن أماكن كثيرة مثل بنجلاديش، هولندا، معظم فلوريدا، وجزر الباسيفيكى يمكن أن تختفى تحت الماء فى القرن القادم، كما أن الموانى فى جميع أنحاء العالم يمكن أن تغمرها المياه.

الأقطار القطبية حدث بها دفء حيث بدأ انصهار الجليد، رقائق الجليد. كذلك فإن ثلوج البحار بدأت تنحسر وترق. لقد فقدت جبال الألب حوالى نصف كتلتها الجليدية منذ عام ١٨٥٠ ، حيث ازداد معدل الفقر خلال العشرين عاما الماضية. فالقياسات التى تمت بواسطة الطائرات المستخدمة للأقمار الصناعية والليزر أظهرت أن ٥٠٠٠ كيلومتر مربع فى نهر جليدى فى ولاية ألاسكا يفقد ما يعادل تقريبا مترا من السمك كل عام – أى ما يعادل ثلاثة كيلومترات مكعبة من المياه.

الصفائح الجليدية القطبية أصبحت تتكسر بمعدل غير مسبوق، انهمر حوالى ثلثى الطبقة الجليدية الضخمة المسطحة (Larson B) ذات السمك حوالى ٧٠٠ قدم وقد تسبب ذلك فى تغير ملوحة البحر وموت كثير من الكائنات المائية البحرية.

طبقا لتقارير الهيئة الحكومية لتغير المناخ (IPCC) الأمريكية. فإن مستويات سطح البحار ارتفعت من ١٠ – ٢٠ سم أثناء القرن العشرين، كما أن الارتفاع فى منسوب سطح البحر مستمر بحوالى ٢ مليمتر فى العام، والذى هو أعلا من معدل الارتفاع فى القرن الماضى. مع المعدل السريع فى دفء الأرض فإن هذا الارتفاع يحتمل أن يزداد . التوقعات المقبولة هى أن مستويات سطح البحر سوف ترتفع خلال القرن الواحد والعشرين بحوالى ٥٠ سم وإن كان بعض العلماء يتوقع مترا تقريبا.

(*) ثانى أكسيد الكربون يقاوم التحلل لما يزيد عن قرن من الزمان ولكن باقى غازات الاحتباس الحرارى تتحلل خلال عقد من الزمان؛ لذلك فإن ثانى أكسيد الكربون يتراكم ويصبح هو المسبب الرئيسى لدفء الأرض

وسدس سكان العالم يعيشون فى مناطق الشواطئ البحرية خلال متر واحد من مستوى سطح البحر.

### ٥ - تغير المناخ العالمى وعواقبه على البحار والشواطئ المصرية :

هناك العديد من المؤشرات ذات الدلالة المؤكدة عن تغير المناخ، وعن العواقب المترتبة. فقد أوضحت القياسات أن منسوب محيطات الكرة الأرضية قد ارتفع بالفعل حوالى ١٥ سم خلال القرن الماضى، ويتوقع خبراء البرنامج الحكومى الدولى لتغير المناخ (IPCC) أن يستمر هذا الارتفاع بمعدل ٣ سم كل عشرة أعوام نتيجة لتمدد مياه المحيطات وللذوبان التدريجى للثلوج التى تغطى قمم الجبال. ومن العواقب المرتقبة على شواطئ مصر نتيجة لهذا التغير فى المناخ العالمى الآتى :

١ - احتمال تزايد معدل حدوث الأعاصير والنوات وتزايد شدتها بما يؤدى إلى تفاقم مشكلة نحر الشواطئ.

٢ - زحف المياه المالحة واختلاطها بالمياه الجوفية العذبة.

٣ - اختلال نمط تساقط الأمطار وتحرك الإقليم الممطر من وسط أفريقيا شمالا، حيث يزداد معدل سقوط الأمطار وتزداد السيول والفيضانات مما يؤدى إلى اختلال النظام البيئى وبصفة خاصة فى البحر الأحمر. كذلك الإضرار بالتنوع البيولوجى والكائنات الحية وخاصة بيئة المرجانيات والأحياء المائية الأخرى حيث جميعها متأقلم على الملوحة المرتفعة لمياه البحر.

٤ - تحول البحيرات الساحلية إلى خلجان بحرية متسعة وغمر الأراضى الزراعية بشمال الدلتا (شمال محافظة البحيرة، وكفر الشيخ والشرقية) وتدمير المدن والقرى الساحلية ومنها الإسكندرية ودمياط وبورسعيد.

### ٦ - الطاقة فى ظل بروتوكول كيوتو :

#### أ - الطاقة والكربون

بدأ الاهتمام العالمى بالبيئة فى إطار الحديث بما تم إنجازه بإشراف الفريق الحكومى الدولى للتغير المناخى، والذى تأسس فى إطار الأمم المتحدة عام ١٩٨٨ وعهد إليه بمهمة تقديم المعلومات المتعلقة بالتغير المناخى من الزوايا العلمية والفنية

والاقتصادية والاجتماعية. ومن تلك الإنجازات وضع الاتفاقية الإطارية للتغير المناخى التى اعتمدتها الأمم المتحدة فى ٩ مايو ١٩٩٢ وعرضت لتوقيع قمة الأرض (Earth Summit) الذى انعقد فى ريودى جانيرو بالبرازيل يوم ١٩٩٢/٥/٤ . وقد أقر المؤتمر ما يعرف بأجندة القرن الواحد والعشرين التى تستهدف تحقيق التنمية المستدامة على مستوى العالم وتتكون من ثلاثة أنشطة محورية وهى: التنمية الاقتصادية والتنمية الاجتماعية وحماية البيئة.

وفى إطار تلك الأنشطة يوجد العديد من الأهداف الإنسانية الكبرى مثل خفض حدة الفقر، وتغيير الأساليب غير المستدامة للإنتاج والاستهلاك (أى التى لا تتسم بالكفاءة والترشيد)، حماية الموارد الطبيعية وحسن إدارتها، وكذلك يرتبط بتلك الأهداف الكبرى العديد من الأساليب الكفيلة بتحقيقها مثل رفع كفاءة ونوعية الحكم والإدارة على المستوى المحلى فى كل دولة وأيضا على المستوى العالمى، وتوفير المناخ المشجع للاستثمار وخاصة بعد أن صار للعوامل الخارجية تأثير عميق على اقتصاد الدول النامية فى ظل العولمة التى تحمل لواءها منظمة التجارة العالمية.

وتستهدف الاتفاقية الإطارية بصفة أساسية تحجيم مبتعثات غازات الصوبة «الاحتباس الحرارى» وأهمها غاز ثانى أكسيد الكربون وغازات أخرى مثل غاز الميثان، غازات النيتروز، غازات هكزافلوروكربون، غاز بيرفلوروكربون، سادس فلوريد الكبريت ($SF_6$)، ذلك مع العمل على استقرار تركيز تلك الغازات فى الغلاف الجوى عند مستوى يحول دون الضرر بالنظام المناخى.

وقد تعهد الموقعون على الاتفاقية الإطارية (FCCC) ويبلغ عددهم فى مستهل ٢٠٠٣ نحو ١٧٨ دولة بوضع برامج لمواجهة التغير المناخى وتبنى سياسات محلية فى كل دولة لتحجيم غازات الصوبة عند مستوى عام ١٩٩٠، وذلك باستثناء الغازات التى تضمنتها بروتوكول مونتريال (١٩٨٧) الذى اختص بمعالجة المواد المؤثرة على طبقة الأوزون. ويصدر الفريق الحكومى الدولى (IPCC) تقارير متابعة تستهدف تحسين مستوى الدراسات العلمية والتدقيق فى حساب القياسات التى يتم على أساسها متابعة تطورات التغير المناخى. وقد صدر التقرير الثالث فى يناير ٢٠٠١ بعنوان (Climate Change 2001) ، حيث استغرق إعداده ٣ سنوات وشارك فى كتابته ١٢٣ من كبار الخبراء يساندهم ٥١٦ خبيرا معاونا، وتمت الموافقة عليه بإجماع ١٥٠ مندوبا يمثلون

١٠ دولة. ويعتبر التقرير أشمل وثيقة صدرت حتى ذلك الوقت حول قضية التغير ناخي. وقد تضمن التقرير أحدث ما توصلت إليه الدراسات الجارية من نتائج والتى جز أهمها فيما يلى :

– أن درجة تركيز غازات الصوبة فى الغلاف الجوى استمرت فى الزيادة نتيجة للنشاط البشرى وبخاصة التوسع فى استهلاك الوقود. حيث ارتفع تركيز ثانى أكسيد الكربون من حوالى ٢٦٨ جزءا فى المليون عام ١٧٥٠ (وهو عام بداية القياس) إلى حوالى ٣٦٥ جزءا فى المليون فى عام ١٩٩٨ . وهو ما يمثل زيادة مطلقة بحوالى ٣١٪ خلال الفترة من ١٧٥٠ – ٢٠٠٠ . كذلك دلت القياسات الحديثة على أن هذا التركيز قد ارتفع بمعدل ١,٥ ٪ سنويا فى المتوسط خلال الفترة من ١٩٩٠ – ١٩٩٩ .

ب– أن قوة الإشعاع الحرارى (Radiative Forcing) الناتجة عن زيادة غازات الصوبة خلال الفترة من ١٧٥٠ – ٢٠٠٠ تقدر بنحو ٢,٤٣ وات لكل متر مربع منها ١,٤٦ وات لزيادة ثانى أكسيد الكربون وحده.

جـ–قدر ما يطلق من ثانى أكسيد الكربون إلى الغلاف الجوى خلال عام ٢٠٠٠ نتيجة لعوامل طبيعية بنحو ٢١٠ مليار طن كربون مكافئ (طن كربون = ٣,٦٧ طن ثانى أكسيد الكربون). وقدر ما أطلق من ذلك الغاز نتيجة للنشاط البشرى فى العام المذكور بنحو ٦,٣ مليار طن كربون مكافئ (أى ٢٣ مليار طن من ثانى أكسيد الكربون) بلغ نصيب الولايات المتحدة منه ١,٥٨ مليار طن كربون مكافئ أو ما يعادل ٢٥ ٪ من إجمالى العالم. وبذلك إجمالى انبعاثات ثانى أكسيد الكربون نحو ٢١٦,٣ مليار طن كربون مكافئ. أما ما تم امتصاصه بعوامل طبيعية كالأشجار والنبات فلم يتجاوز نحو ٢١٣,١ مليار طن كربون (وبذلك يكون الغلاف الجوى قد احتفظ بنحو ٣,٢ مليار طن كربون (أى ما يعادل ١١,٧ مليار طن ثانى أكسيد الكربون) لكى تضيف إلى زيادة تركيز هذا الغاز فى العام المذكور.

د – ارتفعت حرارة الغلاف الجوى خلال القرن العشرين بنحو ٠,٦ درجة مئوية (مع احتمال ٠,٢ درجة زيادة أو نقصا).

هـ- ارتفعت حرارة الكيلومترات الثمانية السفلى من الغلاف الجوى (فى منطقة التروبوسفير) بنحو ٠,٤ درجة مئوية خلال العقود الأربعة التى انقضت منذ أواخر عقد الخمسينيات حتى عام ٢٠٠٠ .

و - وفقا للسيناريوهات المختلفة وعددها ٣٥ يتوقع استمرار ارتفاع حرارة الغلاف الجوى بما يتراوح ما بين ١,٤ ، ٥,٨ درجة مئوية خلال الفترة من ١٩٩٠ - ٢٠٠٠ ، كما تشير تلك السيناريوهات إلى ارتفاع مستوى المياه فى البحار والمحيطات بما يتراوح ما بين ٩٢ - ٨٨ سنتيمترا خلال الفترة المذكورة.

ز - كشفت البيانات المستقاه من الأقمار الصناعية عن احتمال قوى لتقلص طبقة الثلج المتساقط مطر (Snow) منذ أواخر عقد الستينيات، كما تشير القياسات السطحية إلى أن الفترة التى يستغرقها ذوبان الجليد الذى يغطى البحيرات والأنهار فى النصف الشمالى من الكرة الأرضية قد قصرت بنحو أسبوعين خلال القرن العشرين.

ح - يخلص التقرير أنه إذا نجح العالم فى تثبيت الناتج عن النشاط البشرى من انبعاثات غازات الصوبة عند مستوى مناسب، فإن الزيادة التى يمكن أن تطرأ على حرارة الغلاف الجوى على مدى قرن كامل لن تتجاوز أجزاء عشرية قليلة من درجة الحرارة المئوية، أما إذا ترك الأمر دون ضوابط فإن المتوقع أن ترتفع انبعاثات ثانى أكسيد الكربون من حوالى ٢٢ مليار طن فى عام ١٩٩٩ إلى نحو ٢٩ مليار طن فى عام ٢٠١٠ ونحو ٣٦ مليار طن فى عام ٢٠٢٠ .

الجدول التالى يوضح الاستهلاك العالمى للطاقة وانبعاثات الكربون.

**٧ جدول (٨/٢) : الاستهلاك العالمى للطاقة وانبعاثات الكربون**

| الدولة أو المنطقة | الطاقة = كوادرليون Btu | | | | الكربون = مليون طن مترى | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ١٩٩٠ | ١٩٩٩ | ٢٠١٠ | ٢٠٢٠ | ١٩٩٠ | ١٩٩٩ | ٢٠١٠ | ٢٠٢٠ |
| الدول الصناعية الغربية | ١٨٣ | ٢١٠ | ٢٤٧ | ٢٧٨ | ٢٨٤٩ | ٣١٢٩ | ٣٦٩٢ | ٤١٦٩ |
| الولايات المتحدة الأمريكية | ٨٤ | ٩٧ | ١١٦ | ١٣١ | ١٣٥٢ | ١٥١٧ | ١٨٣٥ | ٢٠٨٨ |
| كندا والمكسيك | ١٦ | ١٩ | ١٠ | ١٤ | ٢١٠ | ٢٥١ | ٣٣٧ | ٤٢٧ |
| أوروبا الغربية | ٦٠ | ٦٦ | ٧٥ | ٨٢ | ٩٣٠ | ٩٤٠ | ١٠٤٥ | ١١٣٦ |
| اليابان وأستراليا | ٢٣ | ٢٨ | ٣٢ | ٣٥ | ٣٥٧ | ٤٢٢ | ٤٧٥ | ٥١٨ |
| الاتحاد السوفيتى وشرق أوروبا | ٧٦ | ٥٠ | ٦٢ | ٧٣ | ١٣٣٧ | ٨١٠ | ٩٧٨ | ١١٣٩ |
| الاتحاد السوفيتى سابقا | ٦١ | ٣٩ | ٤٨ | ٥٧ | ١٠٣٦ | ٦٠٧ | ٧٤٥ | ٨٨٤ |
| شرق أوروبا | ١٦ | ١١ | ١٤ | ١٦ | ٣٠١ | ٢٠٣ | ٢٣٣ | ٢٥٥ |
| الدول النامية | ٨٧ | ١٢٢ | ١٨٤ | ٢٦٠ | ١٦٤١ | ٢١٥٨ | ٣٢٤١ | ٤٥٤٢ |
| آسيا | ٥١ | ٧١ | ١١٤ | ١٦٢ | ١٠٥٣ | ١٣٦١ | ٢١٣٩ | ٣٠١٧ |
| الصين | ٢٧ | ٣٢٧ | ٥٥ | ٨٤ | ٦١٧ | ٦٦٩ | ١١٢٧ | ١٦٩٢ |
| الهند | ٨ | ١٢ | ١٨ | ٢٥ | ١٥٣ | ٢٤٢ | ٣٤٩ | ٤٧٥ |
| الشرق الأوسط | ١٣ | ١٩ | ٢٦ | ٢٥ | ٢٣١ | ٣٣٠ | ٤٣٩ | ٥٦٦ |
| أفريقيا | ٩ | ١٢ | ١٦ | ٢٠ | ١٧٩ | ٢١٨ | ٢٨٧ | ٣٦٥ |
| أمريكا الجنوبية (والوسطى) | ١٤ | ٢٠ | ٢٨ | ٤٣ | ١٧٨ | ٢٤٩ | ٣٧٧ | ٥٩٥ |
| جملة العالم | ٣٤٦ | ٣٨٢ | ٤٩٣ | ٦١٢ | ٥٨٢٧ | ٦٠٩٧ | ٧٩١٠ | ٩٨٥٠ |
| الخاضعة لكيوتو الملحق (أ) | ٢٤٣ | ٢٤٧ | ٢٨٩ | ٣٢٦ | ٣٨٩٧ | ٣٧٢٩ | ٤٣٥٩ | ٤٩٠٠ |
| الدول الصناعية الغربية | ١٧٨ | ٢٠٤ | ٢٣٧ | ٢٦٤ | ٢٧٦٥ | ٣٠٢٨ | ٣٥٢٧ | ٣٩٢٨ |
| الاتحاد السوفيتى + شرق اوروبا | ١٦٥ | ٤٣ | ٥٣ | ٦٢ | ١١٣٢ | ٧٠٠ | ٨٣٢ | ٩٦٢ |
| جملة العالم مليار طن $CO_2$ | طن كربون = ٣,٦٦ طن من ثانى أكسيد الكربون | | | | ٢١,٤ | ٢٢,٤ | ٢٩,٠ | ٣٦,٨ |
| | | | | | كوادرليون = $١٠^{١٥}$ | | | |

من التحديات التى تواجهها نظرية الاحتباس الحرارى أن الخسائر التى قد تترتب على ارتفاع حرارة الغلاف الجوى تتضاءل إلى جانب الخسائر الاقتصادية التى تلحق بالاقتصاد العالمى نتيجة لفرض المزيد من ضرائب الطاقة. فالاحتباس الحرارى

من شأنه إبطاء معدلات النمو الاقتصادى وهو ما يسبب خسائر لا تتجاوز ٢٠٪ من الناتج المحلى الإجمالى (GDP) على مستوى العالم على مائة عام. أما آثار الضرائب الإضافية فمن شأنها تقليص استخدام الطاقة وهو ما ينعكس على الاقتصاد العالمى بآثار انكماشية تفوق ذلك بكثير، وبصفة خاصة فى الدول النامية التى تحاول جاهدة اللحاق بركب الدول المتقدمة.

ويخلص من يعارضون ضرائب الكربون (والتى سنتناولها فيما بعد) أن العالم مازال فى حاجة لإجراء المزيد من الأبحاث العلمية للتوصل لمعرفة حقيقة المشكلة، عندئذ يمكن تحديد العلاج الناجع بدلا من التسرع بتنفيذ سياسات وقرارات متعجلة يصعب تلافى آثارها الضارة متى تم تنفيذها.

وتنفيذا للتعهدات التى تضمنتها الاتفاقية الإطارية للتغير المناخى عقدت عدة مؤتمرات تحت مسمى مؤتمر الأعضاء (Conference Of Parties)، وكان أولها فى برلين عام ١٩٩٥ وثانيها فى جنيف عام ١٩٩٦ حيث تقرر فيها تناول انبعاثات غازات الصوبة خلال الفترة التى تلى عام ٢٠٠٠ والتحضير لالتزامات محددة لخفض تلك الانبعاثات لمناقشتها فى المؤتمر الثالث.

وقد عقد المؤتمر الثالث فى كيوتو باليابان فى الفترة من ١ – ١١ ديسمبر ١٩٩٧ بحضور ممثلى ١٦٠ دولة حيث جرى التفاوض بهدف وضع قيود ملزمة على انبعاثات غازات الصوبة فى الدول المتقدمة.

وقد انتهى المؤتمر باعتماد بروتوكول كيوتو الذى وضع أهدافا محددة كميا لانبعاثات الكربون فى الدول المتقدمة ودعى لاتخاذ التدابير الكفيلة بتحقيقها خلال الفترة من ٢٠٠٨ – ٢٠١٢ . وإذ يمكن اعتبار عام ٢٠١٠ كمتوسط لتلك الفترة، فإننا سوف نستخدم ذلك العام – افتراضا – باعتباره نهاية الإطار الزمنى المحدد لتحقيق أهداف البروتوكول.

ويقضى بروتوكول كيوتو الذى أصبح نافذا بإلزام الدول المصنفة تحت الملحق الأول (Annex -1) ، بخفض انبعاثات غازات الاحتباس الحرارى (غازات الصوبة) بما يتراوح ما بين ٥,٢٪ و ١٠٪ تحت مستوى ١٩٩٠ بحلول الفترة من ٢٠٠٨ - ٢٠١٢ . ولم توضع أهداف لما بعد هذا التاريخ، وإن كان البروتوكول يحث الدول الأعضاء على وضع تلك الأهداف فى وقت مبكر

الدول المصنفة تحت الملحق – ١ إلى جانب المجموعة الصناعية الغربية الاتحاد السوفيتى سابقا وشرق أوروبا هى :

أستراليا، بلغاريا، كندا، كرواتيا، جمهورية التشيك، الدانمرك، أستوانيا، الاتحاد الأوروبى، فنلندا، فرنسا، ألمانيا، اليونان، المجر، أيسلاند، أيرلاندا، إيطاليا، اليابان، لاتفيا، لتوانيا (Liechtenstien)، لوكسمبورج، موناكو، نيوزيلنده، النرويج، بولاندا، البرتغال، رومانيا، روسيا، سلوفاكيا، أسبانيا، السويد، سويسرا، أوكرانيا، إنجلترا، الولايات المتحدة الأمريكية.

وتتفاوت التزامات الدول أعضاء الملحق – ١ ، فبينما تلتزم دول الاتحاد الأوروبى بخفض ٨٪ تحت مستوى ١٩٩٠ وتلتزم أمريكا بخفض ٧٪ تحت ذلك المستوى، يسمح لأيسلاند بزيادة فى حدود ١٠٪ . وتضم دول الملحق – إلى جانب المجموعة الصناعية الغربية أعضاء (OECD) (وهى شمال أمريكا، وأوروبا واليابان وأستراليشيا)، الاتحاد السوفيتى سابقا ودول شرق أوروبا باستثناءات قليلة. أما باقى الدول وكلها دول نامية والتى يصنفها البرتوكول (Non - Annex - 1) فلا تلتزم بأهداف محددة، وإن كان البروتوكول يؤكد على ما تضمنه الاتفاق الإطارى لتغير المناخ (FCCC) من التزام جميع أعضائه بوضع وتنفيذ برامج لتخفيف حدة الآثار الضارة للتغير المناخى.

وقد وقعت ٨٤ دولة على بروتوكول كيوتو خلال الفترة المتاحة للتوقيع والتى انتهت يوم ١٥ مارس ١٩٩٩ . غير أن البروتوكول لن يصبح نافذا إلا عندما يقوم بالتصديق عليه ٥٥ عضوا من بينهم أعضاء من الملحق –١ (الإلزامى) يبلغ حجم انبعاثاتهم ٥٥٪ من إجمالى انبعاثات هذا الملحق عام ١٩٩٠ . وحتى نهاية أكتوبر ٢٠٠١ لم يصدق على البروتوكول من أعضاء الملحق سوى رومانيا، وذلك بالإضافة إلى ٤٢ دولة من غير أعضاء الملحق الأول، أى ممن لا يلتزمون بتحقيق أهداف معينة. ومع أن أغلب دول الملحق – ١ وبخاصة أوروبا واليابان تتحمس لتنفيذ البروتوكول، إلا أن انسحاب الولايات المتحدة الذى أعلنه بوش عقب توليه الرئاسة فى مستهل ٢٠٠١ جعل باقى المجموعة تتوقف فى انتظار ما تسفر عنه المحاولات المبذولة لتغيير موقف الرئيس الأمريكى الذى ما زال يصر على الانسحاب. ومما يذكر فى هذا المجال، أن انبعاثات الولايات المتحدة لا تتجاوز ٣٥٪ من انبعاثات دول

الملحق الأول عام ١٩٩٠ ولذلك يبقى نحو ٦٥ ٪ من تلك الانبعاثات وهو ما يمكن أن يغطى نسبة الـ ٥٥ ٪ المطلوبة لجعل البروتوكول نافذا.

وقد عقد مؤتمر الأعضاء الرابع فى الأرجنتين فى نوفمبر ١٩٩٨ حيث اعتمد خطة عمل لوضع الاتفاق الإطارى وبروتوكول كيوتو موضع التنفيذ، وكذلك التدابير اللازمة لتخفيف الآثار السلبية على التجارة العالمية وغيرها من الهياكل الاقتصادية والاجتماعية البيئية. أما المؤتمر الخامس فقد عقد فى بون فى نوفمبر ١٩٩٩ وعقد السادس على دورتين الأولى فى لاهاى نوفمبر ٢٠٠٠ والثانية فى بون يوليو ٢٠٠١ حيث تم بحضور ١٧٨ دولة الموقعة على (FCCC) اتفاق بون متضمنا ما يعرف بكتاب الإجراءات التنفيذية للبروتوكول. وقد شاركت فى هذا المؤتمر رئيسة وكالة البيئة الأمريكية محاطة بالتخاذل الأمريكى الذى سبقها بإعلان بوش أنه ينسحب من بروتوكول كيوتو، ولم يسعفها البيت الأبيض الإجابة على الأسئلة التى وجهت إليها مما زاد فى حدة الحرج الأمريكى.

ويقضى اتفاق بون بإنشاء صندوقين أحدهما لمعاونة الدول النامية على تبنى سياسات لمكافحة التغير المناخى والحصول على تقنيات نظيفة، كما تضمن الاتفاق السماح للدول المتقدمة باستخدام التشجير والتخضير الذى يمتص جانبا من الانبعاثات الكربونية للوفاء بجانب من التزاماتها. كذلك أنشأ اتفاق بون لجنة لمراقبة مدى التزام الدول بتنفيذ أهداف البروتوكول وزودت اللجنة بالإمكانيات الملزمة بما فى ذلك إلزام الدولة التى تتقاعس فى خفض طن من التزاماتها بالتعويض عنه بخفض ١,٣ طن خلال المرحلة الثانية التى تبدأ فى عام ٢٠١٣ .

وعلى الفترة من ٢٦ أغسطس حتى سبتمبر ٢٠٠٢ انعقد فى جوهانسبرج بجنوب أفريقيا ما يعرف بقمة الأرض الثانية للتنمية المستدامة فى إطار مؤتمر الأمم المتحدة للبيئة والتنمية وشارك فيه آلاف من كافة المهن والأجناس، ومن بينهم رؤساء دول وحكومات، ممن يعنيهم الحفاظ على الموارد الطبيعية لكوكب الأرض ومواجهة التحديات التى يفرضها النمو المتسارع للسكان وبالتالى ازدياد حاجتهم للغذاء والماء والمأوى والطاقة والخدمات الصحية والأمن الاقتصادى. وقد استهدفت قمة جوهانسبرج تحقيق المزيد من تفعيل أجندة القرن ٢١ ومواصلة وتعميق التنفيذ الفعلى للأهداف التى أقرتها القمة الأولى (١٩٩٢) بما فيها

بروتوكول كيوتو، وما تلاهما مما أقرته الأمم المتحدة، ومن أبرزها إعلان التنمية الألفية (Millenium Development Declaration)، التى تستهدف خفض نسبة الفقراء والمحرومين من وسائل المعيشة الصحية على كوكب الأرض إلى النصف بحلول عام ٢٠١٥ . وقد اختلفت الآراء حول مدى نجاح المؤتمر فى تحقيق ما استهدفه. تلك هى الجوانب التاريخية لقضية الطاقة والكربون، فماذا عن احتمالات التنفيذ خلال المستقبل المنظور ؟

إذا التزمت الدول الموقعة على بروتوكول كيوتو بتحقيق أهدافه فإن المتوقع أن تتأثر أنماط استهلاك الطاقة تأثرا جوهريا بما يتخذ على المستوى العالمى والمحلى فى كل دولة من تدابير لحماية البيئة. ذلك لأن حجم انبعاثات الكربون المرتبطة باستهلاك الطاقة يعتمد أساسا على حجم النشاط الاقتصادى معبرا عنه بالناتج المحلى الإجمالى (GDP) كما يعتمد على طبيعة خليط الطاقة المستخدمة. وتقاس العلاقة الأولى بحجم ما يستهلك من الطاقة لإنتاج وحدة من الناتج المحلى الإجمالى ويطلق على هذا المقياس «كثافة الطاقة» (Energy Intensity). كما يستدل على طبيعة خليط الطاقة المستهلكة، والذى يضم وقودا حفريا إلى جانب مصادر طاقة غير حفرية يما يعرف بكثافة الكربون (Carbon Intensity). ولذلك فإن محاولة تثبيت حجم الانبعاثات أو خفضها على المستوى العالمى يتم تحقيقه إما بخفض كثافة الطاقة أى تحسين كفاءتها أو بخفض كثافة الكربون، أى إحلال مصدر طاقة ذى محتوى كربون منخفض محل الوقود ذى المحتوى الكربونى المرتفع، أو بالوسيلتين معا. وهذا ما يحتاج إلى مزيد من التعريف.

## ٨ - كثافة الطاقة :

وهى مقياس لما يلزم استهلاكه من الطاقة معبرا عنه بوحدات قياس للطاقة مثل طن أو برميل معادل بترول، لإنتاج وحدة من الناتج المحلى الإجمالى معبرا عنه بوحدات نقدية كالدولار، وإذا استخدم المقياس عبر سنوات متعددة فإنه يلزم تثبيت القيمة الحقيقية للوحدات النقدية باستخدام معيار مناسب للتخلص من أثر التضخم (Deflation). ويتأثر هذا المقياس بمستوى كفاءة المعدات الرأسمالية الموجودة، مثل محطات توليد الكهرباء، وأجهزة ومعدات استخدام الطاقة، ووسائل النقل والمواصلات ... إلخ . وتتأثر كفاءة الأجهزة والمعدات المستخدمة للطاقة بالأسعار

النسبية للطاقة وغيرها من المدخلات التى تساهم فى اقتصاد الدولة، فكلما كانت تكلفة الطاقة أعلا من غيرها من عوامل الإنتاج ازداد الحافز للاستثمار فى تنمية تقنيات كفاءة الطاقة وفى دعم أنشطة البحث والتطوير (R,D) الموجهة لتحسين تلك الكفاءة. وبالمثل إذا كانت الطاقة تمثل جانبا مهما من ميزانية المنتج ازداد الاهتمام بكلفة الطاقة وحجم استهلاكها وارتفع بذلك الحافز لترشيدها.

**٩ - كثافة الكربون :**

كثافة الكربون هى مقياس لكمية الكربون الذى يتخلف عن إنتاج وحدة من الطاقة، ومن ثم فإن تلك الكثافة تختلف باختلاف المحتوى الكربونى لكل مصدر من مصادر الطاقة المستخدمة. فالطاقة النووية ومعظم مصادرالطاقة الجديدة والمتجددة مثل طاقة الرياح والطاقة الشمسية والطاقة الكهرومائية، لا يتخلف عنها شيء من الكربون. أما طاقة المصادر الأحفورية فيختلف محتواها الكربونى بحسب المصدر، إذ يرتفع ذلك المحتوى بالنسبة لكل وحدة حرارية منتجة فى حالة الفحم، ويتدرج انخفاضا فى حالة زيت البترول ثم فى الغاز الطبيعى. ومن ذلك أن احتراق المكافئ لطن من البترول (Toe) تحت ظروف قياسية متماثلة يتخلف عنه فى حالة الفحم ١,٠٥ طن كربون، بينما يتخلف عنه فى حالة البترول ٠,٨٢ طن كربون وفى حالة الغاز الطبيعى ٠,٦٣ طن كربون. ومن هنا يعتبر خليط الطاقة المستخدم فى أى دولة ذا دلالة فى تحقيق الأهداف البيئية، إذ تتوقف قدرة الدولة فى خفض المنبعث من الغازات الملوثة على قدرتها فى إحلال مصدر للطاقة ذى محتوى كربونى منخفض محل مصدر ذى محتوى كربونى مرتفع.

**ما يتضمنه بروتوكول كيوتو :**

وتختلف الدول من حيث قدرتها على وضع وتنفيذ البرامج المحققة لالتزاماتها وفقا لبروتوكول كيوتو، وذلك تبعا لاختلاف كثافة الطاقة وكثافة الكربون فى كل منها، وأيضا تبعا لمدى توفر البدائل غير الحفرية التى يمكن إحلالها محل الوقود الحفرى.

وقد تضمن بروتوكول كيوتو قدرا من المرونة التى تساعد أعضاءه على الوفاء بالتزاماتهم. ومن ذلك ما تجيزه المادة ١٧ من البروتوكول من التبادل التجارى فى الانبعاثات (Emission Trading) بين دول الملحق الأول، وان كانت القواعد المنظمة لتلك التجارة لم يتم وضعها بعد. كذلك تضمن بروتوكول كيوتو إمكانية التوسع فى

التجارة العالمية للانبعاثات وإصدار تراخيص كربونية (Carbon Permits) يتم تبادلها بين الدول. ومن ذلك نظام المشروعات المشتركة الذى نصت عليه المادة ٦ من البروتوكول ويسمح بموجبه لدولة من دول الملحق الأول بالاستفادة بما يتم بصورة مشتركة فى دولة أخرى من دول الملحق الأول من مشروعات تحقق خفضا فى الانبعاثات، أو امتصاص جانب منها كمشروعات التشجير والتخضير.

**١٠ - رخصة الكربون :**

وفقا لنظام المشروعات المشتركة يمكن للدولة المستفيدة فى مقابل ما تقدمه من دعم للدولة التى يتم على أرضها المشروع وبالاتفاق فيما بينهما، أن تحصل على رخصة موثقة تعفيها من الالتزام بخفض مماثل فى انبعاثاتها ويتيح لها فرصة الاستمرار فى استهلاك الطاقة الحفرية بقدر ما تعفى منه. وفى تلك الحالة لا تستفيد الدولة التى تحقق المشروع على أرضها بالخفض الذى استفادت به الدولة التى حصلت على الترخيص.

كذلك نظمت المادة ١٢ من البروتوكول آلية الإنماء التقنى Clean) (CDM) Development Mechanism) والتى يسمح بموجبها لدول الملحق الأول بالحصول على رخصة خفض انبعاثات نتيجة لمشروع يتم فى دولة ليست مصنفة تحت الملحق الأول. وتعتبر تلك الآلية هى المنفذ الوحيد الذى يمكن الدول النامية من أن تحصل من خلاله على استثمارات لدعم جهودها فى مجال حماية البيئة وتخفيف الآثار الضارة للتغير المناخى.

وبالاضافة إلى ما تقدم، تستطيع أى مجموعة من دول الملحق الأول أن تقيم فيما بينها مظلة تلتزم بموجبها بتحقيق الهدف الجماعى للمجموعة وفقا لأحكام البروتوكول.

ويمقتضى ذلك النظام يتم الاتفاق بن المجموعة على توزيع الحصص بين الدول المشاركة فى المظلة، كما يتم بينها تبادل حقوق الانبعاثات، بحيث يتحقق فى النهاية الهدف الجماعى للخفض الذى التزمت به المجموعة.

وتستهدف آليات المرونة الثلاث، وهى إباحة التبادل التجارى بين دول الملحق الأول، ونظام المشروعات المشتركة، وآلية الإنماء التقنى، خفض التكلفة المترتبة على تنفيذ التزامات البروتوكول. غير أن القواعد المنظمة لتنفيذ تلك الآليات مازالت فى دور الإعداد من خلال دورات التفاوض التى تجرى فى إطار مؤتمرات الأعضاء

والأجهزة المعاونة لها. ومن ثم فإنه يتعذر فى الوقت الحاضر تحديد حجم الخفض الذى يمكن أن يطرأ على الانبعاثات بدرجة كافية من الدقة .

ويتوقع أن تتحقق أهداف كيوتو عن طريق خفض ما تستهلكه الدول المصنفة ضمن الملحق الأول من مصادر الوقود الحفرى، وأن يقترن بذلك إحلال مصادر للطاقة ذات محتوى كربونى منخفض.

ومن ذلك التوسع فى استخدام الطاقة الجديدة والمتجددة ومحاولة إحياء الطاقة النووية وإحلال الغاز الطبيعى محل الفحم فى مختلف الاستخدامات وخاصة فى محطات توليد الكهرباء.

وبالإضافة إلى المخفضات الطبيعية للتركيز الكربونى كالتوسع فى التشجير والتخضير، فإن الدول الصناعية الغربية تبذل جهودا حقيقية لتطوير تقنيات اقتناص وتخزين ثانى أكسيد الكربون وهو ما يعرف بـ ($CO_2$ Sequestration) وهى تقنيات مازالت تكلفتها مرتفعة جدا، إذ تقتصر فى الوقت الحاضر على مشروعات صغيرة لاستخلاص غاز عالى النقاء $CO_2$ . أما ما تستهدفه وسائل مكافحة التغير المناخى فهو اقتناص الغاز وتخزينه وعدم إطلاقه ثانيا. وتشير دراسة حديثة للوكالة الدولية للطاقة (IEA) إلى أن تطبيق تلك التقنية فى محطات توليد الكهرباء التى تدار بالوقود الحفرى يكلف ما بين ١٦ ، ٨٧ دولارا لكل طن من $CO_2$. وكذلك تشير تلك الدراسة إلى أن نصيب الكيلوات ساعة من التكلفة الإجمالية لتلك التقنية تقدر فى عام ٢٠٠٠ بما يتراوح بين ١,٦ – ٣,٥ سنت.

وإذ تهدف الجهود البحثية الجارية لخفض التكلفة إلى مستوى ١٠ دولارات أو أقل لكل طن كربون بحلول عام ٢٠١٥ فإن نصيب الكيوات ساعة من تلك التكلفة يمكن أن ينخفض إلى ١,٠٠ – ١,٥ سنت، وهذا ما يجعل تلك التقنية مؤهلة لاحتلال مركز متقدم ضمن وسائل مكافحة وسائل التغير المناخى.

طبقا لما يتضح من الجدول السابق (٨/٢) ، يتوقع لسيناريوهات بدون تنفيذ كيوتو أن يرتفع الاستهلاك العالمى من الطاقة خلال الفترة من ١٩٩٩ – ٢٠٢٠ من ٣٨٢ كواد وحدة حرارية إلى نحو ٦١٢ كواد وحدة حرارية (Quad Btu) أى بزيادة قدرها ٦٠٪ ، كما يتوقع أن ترتفع انبعاثات غاز الصوبة المرتبطة باستهلاك الطاقة

خلال الفترة المذكورة من ٦٠٩٧ مليون طن كربون مكافئ (٢٢,٤ مليار طن $CO_2$) إلى نحو ٩٨٥٠ مليون طن كربون مكافئ (٣٦,١ مليار $CO_2$) أى بزيادة قدرها ٦١٪.

كذلك فإن الانبعاثات الكربونية فى مجموعة الدول الصناعية الغربية المدرجة فى الملحق الأول (Annex - 1) يمكن أن يرتفع بدون تنفيذ التزامات كيوتو، من ٢٧٧٢ مليون طن كربون عام ١٩٩٠ إلى نحو ٣٤٠٨ مليون طن بحلول ٢٠١٠, أى بزيادة نحو ٢٣٪ فوق مستوى ١٩٩٠، وبزيادة نحو ٣٢٪ فوق الهدف المحدد بمقتضى كيوتو وهو ٢٥٨٦ مليون طن أو ما يعادل ٧٪ تحت مستواها عام ١٩٩٠ . وبذلك يلزم لتحقيق أهداف كيوتو فى تلك المجموعة خفض المتوقع فعليا بنحو ٣٢٪، على تفاوت بين المناطق الثلاث أن تبلغ نسبة الخفض نحو ٣٠٪ فى الولايات المتحدة، ونحو ١٦، فى أوروبا الغربية ونحو ٢٠٪ فى اليابان.

ويختلف نمط الانبعاثات الكربونية فى الاتحاد السوفيتى (سابقا) وشرق أوروبا وهى منطقة تدخل أيضا فى مصنف الملحق الأول، نتيجة لما أصابها من نكسات اقتصادية خلال عقد التسعينيات. ففى عام ١٩٩٠ بلغ حجم انبعاثات الكربون فى المنطقة ١٢٩٠ مليون طن. وعلى حين يبلغ الهدف المحدد لتلك المنطقة بمقتضى كيوتو بحلول ٢٠١٠ نحو ١٣٠٩ مليون طن. ولا يتوقع أن يتجاوز ذلك الحجم فعليا نحو ٩٣٥ مليون طن وهو ما يحقق فائضا بنحو ٣٧٤ مليون طن يمكن بيعه لمناطق العجز مثل الولايات المتحدة والاتحاد الأوروبى وفقا لأحكام البروتوكول. وحتى فى عام ٢٠٢٠ فإنه لا يتوقع أن تتجاوز انبعاثات تلك المنطقة ١١٣٩ طن وهو ما يقل أيضا عن مستواها عام ١٩٩٠ . وبذلك تعتبر تلك المنطقة بائعا صافيا لصكوك الكربون خلال المستقبل المنظور (وبالإضافة إلى ذلك يسمح البروتوكول باختيار سنة أساس تختلف عن ١٩٩٠ بالنسبة لكل من بلغاريا والمجر وبولندا ورومانيا والتى تبلغ انبعاثاتها مجتمعة نحو ثلثى انبعاثات أوروبا الشرقية.

لذلك فإنه يلزم لتحقيق هدف كيوتو فى جميع دول الملحق الأول، أن تنخفض انبعاثات الكربون فى تلك المنطقة بحلول ٢٠١٠ إلى ٣٨٩٥ مليون طن مترى كربون وهو ما يقل بنحو ١١,٥٪ عن ما يمكن أن تصل إليه الانبعاثات بحلول عام ٢٠١٠ والتى تقدر بنحو ٤٣٤٤ مليون طن كربون، أما الدول النامية (فى آسيا وأفريقيا

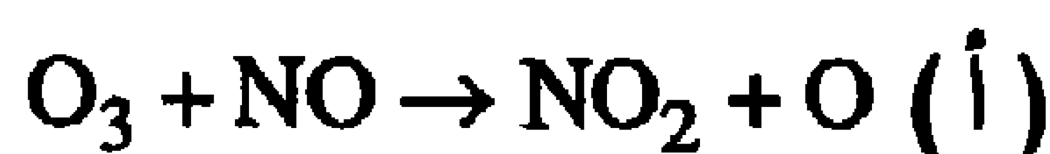
والشرق الأوسط وجنوب ووسط أمريكا) وهى غير مصنفة تحت الملحق الأول، فمن المتوقع أن تقفز الطاقة والكربون فيها ضعف الحجم الحالى مع ارتفاع سرعة تركيز $CO_2$ فى آسيا ووسط وجنوب أمريكا. ويرجع النمو السريع فى الانبعاثات إلى توقعات التنمية الاقتصادية المتسارعة فى تلك الدول، وإلى ما يصاحبها من زيادة معدلات الطلب على الطاقة، كما يعزى أيضا إلى استمرار استهلاك الفحم الذى يستخدم بكثافة فى الدول الآسيوية حيث يبلغ استهلاك الهند والصين معا نحو ٣٥٪ من الاستهلاك العالمى للفحم خلال الفترة من ١٩٩٠ – ٢٠٢٠ ، ويقدر بنحو ٢ مليار طن قصير (الطن القصير هو الطن الأمريكى = ٢٠٠٠ رطل، الرطل الإنجليزى = ٤٥٣,٦ جرام) . مع أن استهلاك الطاقة فى الدول النامية لم يتجاوز فى عام ١٩٩٩ نحو ٣٢٪ من الاستهلاك العالمى من الطاقة مقابل نحو ٥٥٪ فى الدول الصناعية، الغربية، إلا أن المتوقع أن يتقارب استهلاك المنطقتين بحلول ٢٠٢٠ إذ يرتفع نصيب الدول النامية إلى نحو ٤٢٪ مقابل ٤٥٪ فى الدول الصناعية الغربية.

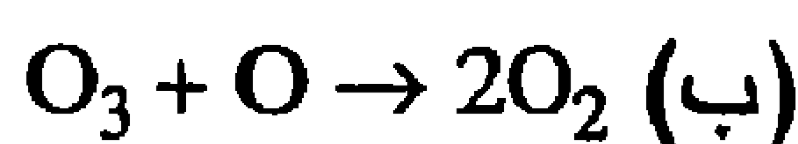
### تكوين ونقص الأوزون فى الإستراتوسفير :

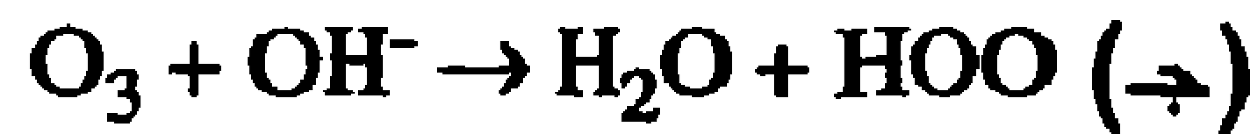
الأوزون هو مادة كيماوية هامة موجودة فى الإستراتوسفيرعند ارتفاع حوالى ٣٠ كيلومتر امن سطح البحر، بتركيز حوالى ١٠٠ جزء فى المليون. طبقة الأوزون الموجودة فى الإستراتوسفير تعمل كدرع لحماية الحياة على سطح الأرض. فهى تمتص بقوة الإشعاعات فوق البنفسجية من الشمس فى المجال من ٢٢٠ – ٢٣٠ نانوميتر، وبذا تحمى الحياة على الأرض من الضرر الخطير بفعل الإشعاعات مثل سرطان الجلد. الذى يصل إلى الجو السفلى وسطح الأرض هو جزء صغير من الأشعة فوق البنفسجية.

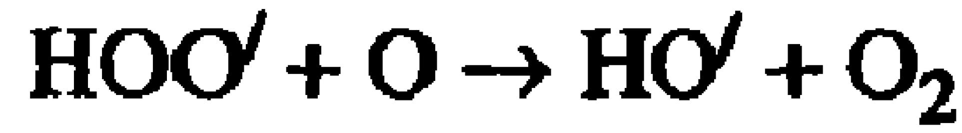
الأوزون يتكون باستمرار فى الغلاف الجوى، ولكنه يدمر بفعل الكلور الذى ينطلق من الأنشطة البركانية وكذلك بالتفاعل مع :

(أ) أكسيد النتروجين – (ب) الأكسجين الذرى – (جـ) شق الأيدروكسيد النشط والذى يكون موجودا فى الجو وذلك من خلال التفاعلات الآتية :


(أ) $O_3 + NO \rightarrow NO_2 + O$

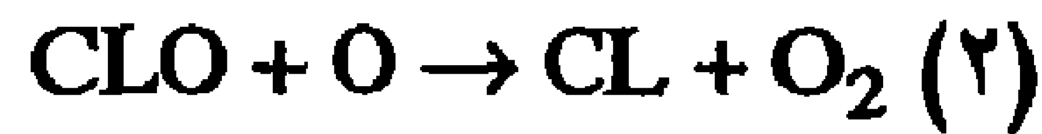

(ب) $O_3 + O \rightarrow 2O_2$


$O_3 + OH^- \rightarrow H_2O + HOO$ (جـ)


$HOO' + O \rightarrow HO' + O_2$

الأوزون فى الإستراتوسفير وجد أنه يتلف بفعل الكلوروفلوروكربون من صنع الإنسان، والذى يستخدم فى التبريد فى الثلاجات وفى أجهزة التكييف فى السيارات، وكمادة دافعة فى الإيروسولات وفى صناعة مادة فوم (هلام) البلاستيك. جزيئات هذه المادة التى تنبعث إلى الجو تتحل لينطلق منها الكلور فى طبقة الأوزون حيث يتم ذلك بالتحلل الضوئى (Photo Dissociation)، وكل ذرة كلور منطلقة قادرة على مهاجمة عدة جزيئات من الأوزون.


$CL + O_3 \rightarrow CLO + O_2$ (١)


$CLO + O \rightarrow CL + O_2$ (٢)

التفاعل رقم (١) يليه التفاعل رقم (٢) حيث ينتج ذرات الكلور، وتتسلسل التفاعلات متضمنة ذرة كلور.

المخاطر البيئية للكلور وفلوروكربون عرفت منذ عام ١٩٧٠ . فلقد اكتشف حقيقة الترقيق والنحافة المؤقتة لطبقة الأوزون فى الإستراتوسفير، بما يؤدى إلى تكون ثقب الأوزون والذى تم حقيقة اكتشافه فوق أنتراكتيا (Antractia) وهى قارة غير مأهولة تقع فى القطب الجنوبى وذلك فى الفترة من سبتمبر إلى نوفمبر عام ١٩٨٥ .

لقد أثبتت التقارير زيادة حالات سرطان الجلد فى جنوب أستراليا، وهذا يرجع إلى إشعاعات الأشعة فوق البنفسجية التى تصل إلى الأرض بسبب استنزاف طبقة الأوزون فوق هذا الجزء من العالم.

اكتشاف ثقب الأوزون فى قارة أنتراكتيا فى عام ١٩٨٥ جذب انتباه المجتمعات العلمية فى العالم. فقد بادرت الولايات المتحدة بإيقاف استخدام مادة الكلوروفلوروكربون. تلا ذلك فى عام ١٩٨٧ حيث وقعت ٢٥ دولة من دول العالم اتفاقية مونتريال والتى تهدف إلى خفض ٣٥٪ من الإنتاج العالمى لمادة الكلوروفلوروكربون بحلول عام ١٩٩٩ . فى نفس الوقت بدأت الجهود نحو إنتاج البديل الخالى من الكلور. فقد استخدم منتج يسمى (HFC - 1349) كبديل لمادة الكلوروفلوروكربون (CFC)، وكذلك تم استخدام مادة ميثيل السيكلوهكزين كبديل لـ (CFC).

## الفصل التاسع

# الطاقة النووية

**١ - مقدمة :**

نظراً لأن الوقود الحفرى يعتبر موردا غير متجدد ويقدر نضوبه عاجلا أو آجلا، لذلك كان التركيز على الطاقة النووية بواسطة الدول الغربية التى تمتلك تقنياتها لكونها مصدر الطاقة الذى لا ينضب مع وفرة خاماته فى تلك الدول. وإن كانت هناك دراسات تفيد بأن تلك الخامات سوف تنضب متزامنة مع الوقود الحفرى.

فى المستقبل سيكون الاعتماد على الطاقة النووية ضروريا لاعتبارات اقتصادية وبيئية، والتى تتوقف على حقيقة أن محطة طاقة نووية واحدة كبيرة يمكن أن تعادل استهلاك ٥٠٠٠٠ برميل زيت فى اليوم، كما أن محطة توليد الطاقة مثل هذه يمكن أن تستعيد تكلفتها الرأسمالية فى سنين قليلة. كذلك فإن استخدام الطاقة النووية لا يصاحبها مشاكل بيئية المصاحبة لاستخدام محطات الطاقة من الوقود الحفرى (الفحم، البترول، الغاز).

**٢ - أساسيات التكنولوجيا النووية :**

**أ - الذرة : Atom**

الذرة هى أصغر جزء من العناصر التى تتكون منها كل المواد الموجودة فى الكون مثل الماء أو المعادن أو الغازات ... إلخ. كل عنصر يتكون من ذرات متناهية الصغر. كل ذرة تشتمل على نواة موجبة هى التجميع الحقيقى للمادة والتى يدور حولها بسرعة كبيرة أجسام صغيرة سالبة الشحنة تسمى إلكترونات. يوجد داخل هذه النواة نوعان من الأجسام هما البروتونات (Protons) وهى أجسام تحمل شحنات كهربية موجبة، والنيوترونات (Neutrons) وهى أجسام متعادلة ولا تحمل شحنات كهربية. الذرات التى تحتوى نواتها على نفس عدد البروتونات (وإن اختلف عدد

النيوترونات) تسمى نظائر. وعنصر اليورانيوم هو أحد العناصر الموجودة أساسا فى الطبيعة فى شكل نظيرين هما اليورانيوم ٢٣٥ (ويحتوى على ٩٢ بروتون و ١٤٣ نيوترون) واليورانيوم ٢٣٨ (ويحتوى على ٩٢ بروتون و ١٤٦ نيوترون).

ب- الانشطار النووى :

إذا انشطرت نواة الذرة كما فى حالة اصطدامها بجسم نووى مثل النيوترون فإنها تنقسم لعنصرين يقل مجموع كتلتيهما عن كتلة الذرة الأصلية، وهذا الفرق فى الكتلة يتحول إلى مقدار هائل من الطاقة طبقا لمعادلة أينشتين التى تربط الطاقة بالكتلة ( $E = mv\ 2$ أى الطاقة = الكتلة × مربع سرعة الضوء). وكلما زاد عدد البروتونات والنيوترونات فى نواة الذرة كانت أكثر قابلية للانشطار. من أهم العناصر الانشطارية اليورانيوم ٢٣٥ المستخدم كوقود فى المفاعلات النووية. انشطار جرام واحد من اليورانيوم ٢٣٥ ينتج عنه طاقة تساوى الطاقة الناتجة من حرق ٢,٤ طن من الفحم أو ١١,٢ برميل من البترول.

جـ- التفاعل المتسلسل :

إلى جانب هذا المقدار الهائل من الطاقة ينتج عن هذا الانشطار عدد يتراوح من ٢ إلى ٣ نيوترونات جديدة تتسبب بدورها فى إنشطار ذرات يورانيوم أخرى بما يجعل هذا التفاعل الانشطارى مستمرا ومتسلسلا. فإذا افترضنا انطلاق ٢ نيوترون من الانشطار الأول فإنه ينتج عنهما انشطاران جديدان فى المرحلة الأولى وفى المرحلة الثانية ٤ وفى الثالثة ٨ وفى الرابعة ١٦ وفى العاشرة ١٠٢٤ وفى العشرين ١٠٤٨٥٧٦، مع العلم بأن الفترة الزمنية بين المرحلة والتى تليها لا تزيد عن جزء من الثانية. وعلى هذا الاعتبار يمكن تخيل مقدار الطاقة التى يمكن الحصول عليها بسرعة هذا التفاعل، وهذا النوع من التفاعل المتسلسل غير محكوم بمعنى أنه يتزايد باستمرار وهو ما يحدث فى القنبلة الذرية.

أما فى حالة التفاعل المتسلسل المحكوم فإنه يخرج نيوترون واحد فقط فى المتوسط قادر على الدخول فى انشطار جديد، وبالتالى فإن عدد النيوترونات القادرةعلى الدخول فى انشطار جديد فى وقت ما يساوى عدد النيوترونات المسببة للانشطار فى المرحلة الأولى، وهو ما يحدث فى المفاعلات النووية. أولا توجد صعوبة فى إيقاف هذا النوع من التفاعل المتسلسل وإنما الصعوبة فى الحفاظ على

استمراره؛ ذلك لأن بعض النيوترونات الناتجة من الانشطار تخرج خارج منطقة التفاعل وبعضها تمتصه نوات ذرات غير قابلة للانشطار، وبالتالى لا يمكن لمحطة نووية أن تتحول إلى قنبلة ذرية وذلك بسبب الخواص الفيزيائية للمواد النووية نفسها، وحتى فى حالة حدوث التفاعل المتسلسل من انشطار المواد النووية وخروجه عن سيطرة نظم التحكم (وهذا نادر الاحتمال بسبب عوامل الأمان المتخذة فى الاعتبار) فإن الطاقة نفسها سوف تعمل على إيقاف التفاعل بواسطة التأثيرات الفيزيائية العكسية وأبسطها انصهار المواد نتيجة ارتفاع درجة الحرارة وبالتالى تتغير الابعاد الموجودة ويتوقف التفاعل تلقائيا.

د – المهدئ (Moderator)

يتوقف احتمال حدوث الانشطار على سرعة النيوترونات المسببة له حيث تتم عملية الانشطار بسهولة كلما كانت النيوترونات ذات سرعات بطيئة، حيث تكون فرصة امتصاصه بواسطة نواة قابلة للانشطار أكبر بكثير عن حالة النيوترون الذى يسرع السير داخل منطقة النواة، فإذا علمنا أن النيوترونات التى تخرج من الانشطار النووى تكون ذات سرعات عالية (حوالى ٢٠٠٠٠ كيلومتر فى الثانية) لاتضح مدى الحاجة إلى استخدام مهدئ لهذه النيوترونات يعمل على الإقلال من سرعتها لزيادة احتمال دخولها فى انشطار جديد. المهدئ هو مادة لها نواة خفيفة ذلك لأن النيوترونات تتصرف فى هذه الحالة كما لو كانت كرات منطلقة بسرعة كبيرة فهى لا تفقد سرعتها إذا اصطدمت بأجسام ثقيلة لكنها تفقد جزءا كبيرا من سرعتها إذا اصطدمت بأجسام لها كتلة قريبة نسبيا من كتلتها، مثل ما يحدث فى لعبة البلياردو، حيث الكرة التى تصطدم بحاجز المنضدة ترتد راجعة بنفس السرعة تقريبا، بينما تلك التى تصطدم بكرة أخرى ساكنة تفقد جزءا من طاقتها بسبب تلك الكرة. يعتبر الجرافيت والماء الثقيل والماء العادى من المهدئات التى يكثر استخدامها فى المفاعلات النووية.

هـ – المفاعل النووى :

المفاعل النووى جهاز تتم فيه عملية انشطار متسلسل محكوم. ويتكون المفاعل من الأجزاء الرئيسية التالية :

قلب المفاعل : وهو الجزء الذى يوجد به الوقود النووى على شكل قضبان من اليورانيوم وكذلك مادة مهدئة لسرعة النيوترونات.

**العاكس :** هو مادة توضع حول الوقود وذلك لمنع النيوترونات من الاتجاه إلى خارج قلب المفاعل وغالبا ما تكون مادة العاكس هى نفس مادة المهدئ.

**نظام التبريد :** الغرض منه سحب الحرارة الناتجة عن الانشطار من قلب المفاعل باستمرار وذلك عن طريق تمرير مائع تبريد (سائل أو غاز) داخل قلب المفاعل فيكتسب الطاقة الحرارية من الوقود فى قلب المفاعل ثم تستخدم هذه الطاقة الحرارية فى توليد الكهرباء أو التدفئة أو توفير الطاقة لمنظومات تحلية المياه ... إلخ.

**نظام التحكم :** وهى للتحكم فى معدل التفاعل الانشطارى وبالتالى فى قدرة المفاعل وذلك عن طريق امتصاص النيوترونات بواسطة قضبان تحكم تصنع من مادة لها خاصية امتصاص النيوترونات مثل الكادميوم.

وهناك معدات وأجهزة أخرى متعددة مساعدة مثل المضخات والمبادلات الحرارية والتوربينات وغيرها وجميعها من المفاعل النووى تكوّن ما يسمى بالمحطة النووية. وعلى ذلك فالمحطة النووية هى عبارة عن تصميم تكنولوجى يتم فيه تحويل طاقة الانشطار الناتجة داخل الوقود النووى إلى طاقة حرارية يكتسبها مائع التبريد خلال سريانه، وتستخدم هذه الطاقة الحرارية فى توليد الكهرباء وغيرها من التطبيقات.

### ٣ - دورة الوقود النووى :

تنقسم عناصر دورة الوقود النووى إلى ثلاث مراحل :

أ - استكشاف واستخراج خام اليورانيوم - معالجة الخام لإنتاج ثانى أكسيد اليورانيوم ($U_3 O_8$) المعروف باسم العجينة الصفراء.

ب- تحويل العجينة الصفراء إلى هيكسافلوريد اليورانيوم ($UF_6$) لمفاعلات الماء العادى أو أكسيد اليورانيوم $UO_2$ لمفاعلات الماء الثقيل المضغوط - إثراء اليورانيوم (Enrichment) وهى إحدى العمليات الهامة الخاصة بدورة وقود مفاعلات الماء العادى ويتم خلالها رفع نسبة نظير اليورانيوم ٢٣٥ من ٠,٧ ٪ إلى حوالى ٣ ٪.

جـ- التعامل مع الوقود داخل المفاعل .

د - التعامل مع الوقود المحترق والتى تسمى عادة مؤخرة دورة الوقود وتشمل :

- نقل وتخزين الوقود المحترق فى مخازن مؤقتة أو دائمة .
- إعادة معالجة الوقود المحترق لاستخلاص اليورانيوم والبلوتونيوم لاستخدامهما كوقود مرة أخرى.
- التعامل مع النفايات المشعة والتخلص النهائى منها.

يمكن أن تكون دورة الوقود النووى مفتوحة أى تنتهى بالتخلص من الوقود المحترق وفصل اليورانيوم والبلوتنيوم عن نواتج الانشطار الأخرى وإعادة استخدامها مرة أخرى كوقود داخل المفاعل. ومن الصعب حاليا الحصول على التكنولوجيا اللازمة لتبنى دورة الوقود المغلقة بسبب المخاوف من انتشار السلاح النووى.

## ٤ - أنواع المفاعلات النووية :

تصنف مفاعلات القوى طبقا لطاقة النيوترونات - إلى مفاعلات حرارية (Thermal Reactors) تكون طاقة نيتروناتها منخفضة ومفاعلات سريعة (Fast Reactors) تكون طاقة نيتروناتها عالية. كما يمكن تصنيف المفاعلات طبقا للعناصر الرئيسية المكونة للمفاعل سواء كانت مادة ونوع الوقود النووى (بما فى ذلك درجة الإثراء باليورانيوم) ، أو المهدئ أو العاكس، وأيضا مادة التبريد. ونتيجة لتعدد تلك المواد المستخدمة تتعدد بالتالى أنواع المفاعلات النووية.

يمكن تقسيم المفاعلات إلى ثلاثة أنواع رئيسية :

### أولا : المفاعلات التى ثبتت صلاحيتها ومتاحة للتصدير

وتشمل أنواع المفاعلات التى أنشئت وتم تشغيلها فى عدد من محطات القوى على النطاق التجارى والتى تعمل وتنتج الطاقة بصورة مرضية وتتضمن الأنواع الآتية :

* مفاعلات الماء العادى المضغوط - Pressurized Water Reactorc (PWR) - والتى تعمل باليورانيوم المخصب بنسبة صغيرة.

* المفاعلات المبردة والمهدأة بالماء الثقيل المضغوط وتعمل باليورانيوم الطبيعى (BHWR) - Pressurized Heavy Water Reactors .

* مفاعلات الماء العادى المغلى وتعمل أيضا باليورانيوم المخصب بنسبة صغيرة . (BWR) - (Boiling Water Reactors) .

## ثانيا: المفاعلات التى ثبتت صلاحيتها وغير متاحة للتصدير :

وتشمل أنواع المفاعلات التى تم التشغيل الفعلى لها فى البلد المنتج وثبتت صلاحيتها الفنية إلا أنه لم يتم تصدير أى منها خارج الدولة المنتجة، كما أنها غير متاحة للتصدير، وعادة ما يكون لها استخدامات عسكرية، بالإضافة إلى استخداماتها الاقتصادية، حيث تؤدى التفاعلات النووية إلى تحويل اليورانيوم ٢٣٨ إلى البلوتونيوم ٢٣٩ ، وتشمل هذه الفئة الأنواع الآتية .

* مفاعلات اليورانيوم الطبيعى المبردة بالغاز (ثانى أكسيد الكربون) والمهدأة بالجرافيت (GCR) (Gas Cooled Reactors). وقد تم تطوير هذه المفاعلات فى المملكة المتحدة وفرنسا ويسمح استخدام الجرافيت باستخدام اليوانيوم الطبيعى ودورة وقود بسيطة، ورغم استخدامه بكثرة فى بريطانيا إلا أنها قد توقفت عن إنتاجه حاليا.

* المفاعلات المتقدمة المبردة بالغاز (ثانى أكسيد الكربون) (AGR) (Advanced Gas Cooled Reactors). وقد تم تطويرها فى بريطانيا لتحل محل مفاعلات (GCR) وتختلف بما يؤدى إلى تحسين خواص البخار الناتج ويقلل من حجم المفاعل وبالتالى يحسن من اقتصاديات توليد الكهرباء.

* المفاعلات المبردة بالماء العادى والمهدأة بالجرافيت (LWGR) Light Water Cooled Graphite Moderated Reactors. وقد تم تطوير هذه المفاعلات فى الاتحاد السوفيتى ولم يتم تصديره لأى دولة أخرى، وهذا هو النوع الذى ارتبط بحادثة تشيرنوبل الشهيرة، وهى تعتمد على استخدام وقود يورانيوم بنسبة إثراء بسيطة (١,٨ ٪).

جميع تلك المفاعلات يتم تغيير الوقود النووى لها أثناء التشغيل أى لا تحتاج لإيقاف المفاعل لتغيير الوقود المستنفد.

**ثالثا : المفاعلات التى ثبت جزئيا صلاحيتها وتجربتها :**

وتشمل أنواع المفاعلات التى تم التشغيل الفعلى لنموذج أولى واحد منها على الأقل بحجم متوسط أو كبير، والتى يمكن استخدامها مستقبلا على المستوى التجارى وتتضمن الأنواع الآتية :

* المفاعلات مرتفعة الحرارة المبردة غازيا والمهدأة بالجرافيت (HTGR) (High Temperature Gas-Cooled Reactors) . وهذه تعد تطويرا للمفاعلات المبردة بالغاز المشار إليها أعلاه. وميزة هذا النوع من المفاعلات هو إمكانية الوصول إلى درجات حرارة عالية جدا (١٠٠٠ درجة مئوية) باستخدام غاز الهيليوم كمبرد، وبالتالى الوصول إلى كفاءة حرارية عالية باستخدام توربينات غازية.

* المفاعلات المتوالدة السريعة : Fast Breeder Reactors (FBR)

**الخيارات التكنولوجية :**

نظراً لأن الدول العربية ومن بينها مصر ليست من الدول المصنعة للمفاعلات النووية – فإنها سوف تعتمد على الاستيراد لتوفير احتياجاتها من المفاعلات النووية للأغراض المختلفة كتوليد الكهرباء وتحلية مياه البحر. ولذلك فسوف يكون العرض ليشمل التكنولوجيات الناضجة والمتاحة تجاريا أى تلك التى تم تشغيلها بنجاح والتى تنحصر أساسا فى المفاعلات المهدأة والمبردة بالماء سواء العادى أو الثقيل.

**٥ - الإشكاليات المتعلقة باستخدام الطاقة النووية :**

رغم أن مفاعلات القوى النووية تعد من التقنيات الناضجة والمجربة على مدى أكثر من أربعة عقود أثبتت خلالها أنها مصدر يعتمد عليه ومأمون لتوليد الكهرباء، إلا أن الطلب العالمى على مفاعلات القوى النووية قد تراجع فى عقدى الثمانينيات والتسعينيات مقارنة بالعقدين السابقين عليهما فى القرن الماضى. وقد ساهم فى هذا التراجع مجموعة من الإشكاليات المتعلقة باستخدام الطاقة النووية نوجزها فيما يلى :

## إشكالية التمويل :

تتميز الطاقة النووية بأربع خصائص رئيسية تجعل تمويلها من الأمور الصعبة وهى : التكلفة الاستثمارية العالية، وطول فترة الإنشاء، ودرجة عالية من عدم اليقين فيما يتعلق بالتكلفة، والجدول الزمنى للإنشاء، بالإضافة إلى تأثير القبول الجماهيرى على التمويل وسوف نتناولها بشيء من التفصيل .

**التكلفة الاستثمارية العالية** : ويمثل هذا العنصر أهم العناصر فى إشكاليات التمويل، حيث تراوحت التكلفة الاستثمارية من ٢٠٠٠ دولار إلى ٣٣٠٠ دولار لكل كيلوات مركب طبقا لاسعار عام ٢٠٠٢ . أى أن محطة نووية قدرتها فى حدود ١٠٠٠ ميجاوات يمكن أن تتراوح تكلفتها الاستثمارية من ٢ مليار إلى أكثر من ثلاثة مليارات فى حالة تأخير المشروع عن ما هو مخطط للإنشاء. وهو ما يجعل الكثير من المؤسسات المالية تعتبر أن تركيز أموالهم فى هذه المشروعات الكبيرة مخاطرة غير مأمونة. ويزداد الأمر صعوبة بالنسبة للدول النامية حيث قد يتعدى التمويل المطلوب أسقف الائتمان التى تحددها مؤسسات التمويل الدولية لكل دولة من الدول النامية. ويرى البنك الدولى أن المحطات النووية غير اقتصادية وأن القدرات الكهربية الكبيرة لهذه المحطات مقارنة بحجم الشبكات الكهربية فى العديد من الدول النامية يحمل مخاطر وجود قدرة كهربية غير مستغلة أو زائدة إذا لم يتطور الطلب على الكهرباء.

**طول فترة الانشاء** : تحتاج المحطة النووية إلى فترة تتراوح ما بين ٦ إلى ٨ سنوات فى المتوسط، وفى الدول النامية يكون متوسط فترة الإنشاء بشكل عام أطول مقارنة بالدول المتقدمة وذلك بسبب الحاجة إلى تطوير البنية الأساسية اللازمة لبناء المحطة النووية مثل إنشاءات الطرق والموانى لنقل المعدات الثقيلة أو مبانى لإسكان العاملين فى الأنشاء .. إلخ.

وأثناء فترة الإنشاء الطويلة ويسببها أيضا فإن المحطة النووية لا تحقق عائدا من المشروع أثناء فترة الإنشاء، ففى حالة فترة إنشاء مدتها ثمانى سنوات تكون الفائدة خلال تلك المدة من ٣٠ – ٤٥ ٪ من التكلفة الاستثمارية للمشروع، بينما تتراوح الفائدة أثناء الإنشاء للمحطات التقليدية ما بين ٧ ٪ إلى ١٠ ٪ ، وأى تأخير إضافى سوف يزيد تكلفة المشروع بأكثر من ١٠ ٪ لكل سنة إضافية.

**درجة عالية من عدم اليقين (Uncertainty)** : أوضحت التجربة فى عدد من البلدان أن إنشاء محطة نووية يمكن أن يواجه بالعديد من المتغيرات التى قد تعطل المشروع وتزيد من فترة الإنشاء بشكل كبير؛ فمثلا من بين ٣٦ محطة نووية تحت الإنشاء (حتى آخر ١٩٩٨) ، يوجد ١٦ محطة بدأ إنشاؤها فى الفترة من ١٩٧٥ إلى ١٩٨٧ ولم تنته حتى الآن وذلك للآتى :

* تدخل السلطات المسئولة عن الأمان النووى بطلب إجراء تعديلات فى التصميم (الذى سبق أن وافقت عليه) أثناء بناء المحطة فعلا، ويعد هذا السبب من أهم أسباب طول فترة الإنشاء وارتفاع تكلفتها فى الولايات المتحدة.

* عدم كفاية التمويل المحلى .

* التكلفة الإضافية غير المتوقعة نتيجة للتضخم.

**تأثير القبول الجماهيرى على التمويل** : هناك قطاع من المثقفين والعلماء وعامة الشعب فى الدول الصناعية المتقدمة يعارض استخدام الطاقة النووية وخاصة فى البلدان الديمقراطية حيث يمكن للجمعيات الأهلية وجماعات الضغط أن تتدخل فى عملية الترخيص أو من خلال المحاكم بما يؤخر كثيرا تنفيذ المشروعات ويرفع بالتالى من تكلفتها الاستثمارية نتيجة لزيادة فترة الإنشاء.

## إشكاليات سياسية :

التخوف الرئيسى من استخدام المحطات النووية هى أن تتحول الاستخدامات السلمية للطاقة الذرية كتوليد الكهرباء إلى استخدامات عسكرية لإنتاج قنابل ذرية. والغرض الرئيسى من اتفاقية حظر الانتشار النووى Nuclear Non Proliferation Treaty (NPT) هو مواجهة هذا الاحتمال حيث تتعهد الدول المنضمة إليها بعدم نقل أو استقبال أسلحة نووية من أى مصدر، كما تتعهد الدول المنضمة التى لا تمتلك أسلحة نووية بعدم تصنيعها أو محاولة الحصول عليها بأى أسلوب آخر. كما تقوم الوكالة الدولية للطاقة الذرية بالتفتيش على المنشآت النووية للدول المنضمة للاتفاقية لضمان عدم تحويلها إلى استخدامات عسكرية سرية.

إضافة إلى ما سبق فإن الوقود المستخدم فى المحطات النووية لا يمكن استخدامه فى إنتاج أسلحة نووية دون سيطرة كاملة على دورة الوقود النووى بما فى ذلك عمليات الإثراء وإعادة المعالجة، وهو ما يصعب حصول الدول النامية عليه حاليا، ورغم ذلك يعتقد بعض صانعى القرارات فى الدول الصناعية المتقدمة أنه توجد رابطة بين الاستخدامات السلمية والعسكرية للطاقة النووية؛ ولذلك فإنهم يعارضون تصديرها إلى الخارج.

**إشكاليات القبول الجماهيرى :**

لقد كانت هناك نظرة سائدة على المستوى العالمى أن الطاقة النووية سوف تسود وأنها سوف تكون رخيصة جداً بما لا يتطلب تركيب عدادات لقياس استهلاك الكهرباء. وقد انعكس ذلك فى قفزة ضخمة على الطلب على المحطات النووية اعتبارا من عام ١٩٦٧ . إلا أنه مع تزايد قدرة المفاعلات تزايدت المخاوف أيضا لدى بعض القطاعات الجاهيرية فى البلدان المتقدمة، ويمكن تلخيص هذه المخاوف فى الآتى :

**التأثير البعيد المدى للتعرض للدرجات المنخفضة للإشعاع**

هناك تخوف مبالغ فيه وغير مبرر فى كثير من الأحيان حول ما إذا كان من الممكن تشغيل المحطات النووية لكل ما تشمله من التعامل مع الوقود النووى ومنظومات التبريد والتخلص الآمن من النفايات المشعة ضمن معايير أمان مقبولة فيما يختص بانطلاق المواد المشعة إلى البيئة. ويعتقد بعض العلماء أن تعرض الإنسان للإشعاع بأى جرعة مهما كانت صغيرة يعرض الإنسان لخطر الإصابة بالسرطان وتشوه الجينات، ذلك رغم أن الجرعة الإشعاعية التى يمكن أن يتلقاها فرد مقيم إقامة دائمة بجوار محطة نووية لا يتجاوز ٥٪ من الجرعة الإشعاعية التى يمكن أن يتلقاها عند قيامه بعمل أشعة على الصدر، إلا أنه جرى تسليط الضوء بشكل مبالغ فيه على المحطات النووية كمصدر للإشعاع المنخفض وسبب رئيسى للسرطان. وهناك صعوبة عملية فى دراسة التأثير البعيد المدى للتعرض للدرجات المنخفضة للإشعاع حيث لا يمكن عزل هذا التأثير عن تأثيرات أخرى كالكيماويات والتدخين والتغذية ... إلخ، كما أنه لم يثبت أن المقيمين بجوار المحطات النووية أكثر تعرضا للإصابة بالسرطان عن غيرهم .

**الكوارث النووية :**

التخوف الثانى هو حدوث كارثة نووية، أى حادثة ينتج عنها خروج مواد مشعة بكميات كبيرة إلى البيئة وتعرض المقيمين فى المحطة النووية لكميات قاتلة من الإشعاع، بالاضافة إلى حدوث تشوهات وراثية تنتقل إلى الأجيال القادمة. والواقع أن احتمالات تعرض أى من مفاعلات القوى النووية العاملة حاليا لحادثة من هذا النوع لا يزيد عن واحد فى العشرة مليون وهو نفس احتمال اصطدام الكرة الأرضية بجرم سماوى ينتج عنه اختفاء الحياة على الأرض .

**النفايات النووية :**

أما ثالث المخاوف / الإشكاليات فقد نتجت عن عدم التوصل لحل للتخلص النهائى من النفايات النووية، مما جعل البعض يعتقد أن الآثار السلبية على البيئة فى المستقبل تزيد عن الفوائد التى يمكن الحصول عليها اليوم من التكنولوجيا النووية. والواقع أنه لا توجد مشكلة فنية للتخلص الآمن من النفايات النووية. والمشكلة الفعلية هى مشكلة التعامل مع مخاوف السكان الذين سينشأ فى منطقتهم المستودع النهائى للنفايات النووية.

## ٦ - إمكانيات استخدام الطاقة النووية فى مصر

كانت مصر من أوائل الدول النامية التى أدركت أهمية الطاقة النووية واستخداماتها السلمية منذ أوائل الخمسينيات حيث شاركت فى المؤتمر الأول عن الاستخدامات السلمية للطاقة الذرية الذى نظمته الأمم المتحدة فى جنيف فى أغسطس عام ١٩٥٥ والذى بدأت فى أعقابه أولى خطوات البرنامج النووى المصرى بإنشاء لجنة الطاقة الذرية فى أكتوبر ١٩٥٥ . ويوضح الجدول التالى (٩/١) موجزا للعلامات الهامة على طريق البرنامج النووى المصرى .

جدول (٩/١) : علامات على طريق البرنامج النووى المصرى

| الأداء | السنة |
|---|---|
| – مبادرة الرئيس إيزنهاور المسماة «الذرة من أجل السلام» | ١٩٥٣ |
| – إنشاء لجنة الطاقة الذرية بالقانون ٥٠٩ | ١٩٥٥ |
| – إنشاء مؤسسة للطاقة الذرية بالقرار الجمهورى رقم ٢٨٨ | ١٩٥٧ |
| – تشغيل المفاعل البحثى الأول بأنشاص | ١٩٦١ |
| – الدراسات التمهيدية لاستخدام مفاعلات القوى النووية فى مصر | ١٩٦٣ |
| – إعداد المواصفات وطرح مناقصة لمحطة قوى نووية لتوليد الكهرباء وتحلية المياه المالحة (بقدرة ١٥٠ ميجاوات + ٢٠٠٠٠ م$^{٣}$ /ى ماء) | ١٩٦٤ |
| – الانتهاء من تقييم العطاءات المتقدمة | ١٩٦٥ |
| – إصدار خطاب نوايا لشركة وستنجهاوس | ١٩٦٦ |
| – العدوان الإسرائيلى وتوقف المشروع | ١٩٦٧ |
| – مراجعة دراسات تخطيط الطاقة | ١٩٧١ |
| – الحرب مع إسرائيل وارتفاع أسعار البترول | ١٩٧٣ |
| – إعداد المواصفات وطرح مناقصة إنشاء محطة قوى نووية بقدرة ٦٠٠ ميجاوات (المحاولة الثانية) | ١٩٧٤ |
| – إصدار خطاب نوايا لشركة وستنجهاوس | ١٩٧٥ |
| – إنشاء هيئة المحطات النووية بالقانون ١٣ | ١٩٧٦ |
| – قيام الحكومة الأمريكية بالتراجع عن اتفاقية التعاون وإصرارها على شروط اعتبرتها الحكومة المصرية ماسة بالسيادة ورفضها | ١٩٧٨ |
| – الحادثة النووية فى ثرى مايل أيلاند بأمريكا | ١٩٧٩ |
| – تصديق مصر على معاهدة حظر الانتشار النووى | ١٩٨١ |
| – إعداد المواصفات وطرح المناقصة لإنشاء محطة قوى نووية (بقدرة ٩٠٠٠ ميجاوات) المحاولة الثالثة | ١٩٨٣ |
| – تقييم العطاءات | ١٩٨٤ |
| – التفاوض لترسية العطاء | ١٩٨٥ |

| الآداء | السنة |
| --- | --- |
| – حادثة تشيرنوبل فى ٢٦ أبريل قبل بضعة أيام من اليوم المحدد لإعلان ترسية العطاء وتوقف المشروع | ١٩٨٦ |
| – إعلان رئيس الجمهورية عدم نية مصر شراء أى مفاعلات للقوى النووية<br>– تشغيل المفاعل البحثى الثانى بأنشاص | ١٩٩٢ |

يتضح من دراسة الجدول السابق الحقائق التالية :

١ – أنه رغم ما يزيد عن خمسين عاما على بداية البرنامج النووى المصرى فإن مصر لم تنجح حتى الآن فى إنشاء أى محطة نووية لتوليد الكهرباء رغم أنها قد بذلت ثلاث محاولات فى أعوام ١٩٦٤ ، ١٩٧٤ ، ١٩٨٤ .

٢ – إن البرنامج النووى المصرى كان دائما شديد الحساسية للأوضاع الدولية سلبا وإيجابا. فقد أنهت حرب يونيو ١٩٦٧ المحاولة الأولى، بينما أطلقت حرب أكتوبر ١٩٧٣ المحاولة الثانية. التى وأدتها التدخلات الأمريكية – أما المحاولة الثالثة فرغم أن التفسيرات الرسمية ترجع أسباب إحباطها إلى حادث تشيرنوبل فى الاتحاد السوفيتى السابق، إلا أنه يبدو أن السبب الرئيسى يرجع إلى معارضة البنك الدولى والضغوط الأمريكية لمقاومة إدخال المحطات النووية إلى منطقة الشرق الأوسط، وكمثال على ذلك البيان الذى أصدره بنك الاستيراد والتجارة الأمريكى عام ١٩٨٥ والذى حذر فيه من تمويل إنشاء محطات نووية فى مصر باعتبارها بلدا مفلسا وهو ما يعيد إلى الأذهان موقف البنك الدولى من تمويل مشروع السد العالى فى الخمسينيات من القرن الماضى.

٣ – أنه من المثير للدهشة أنه حتى فى أشد لحظات الصدام مع الولايات المتحدة وحلفائها الغربيين فى مرحلة الستينيات فإن كل محاولات إنشاء محطات نووية لتوليد الكهرباء كانت تتوجه نحو الدول الغربية والولايات المتحدة الأمريكية على وجه الخصوص بما أعطاها القدرة دائما على إجهاض البرنامج النووى المصرى.

٤ - إن الاتحاد السوفيتى قد أتم بناء مفاعل تجريبى فى أنشاص عام ١٩٦١ وذلك فى أعقاب نجاح إسرائيل فى بناء مفاعل ديمونا عام ١٩٥٧ بقدرة ٢٦ ميجاوات، إلا أن المفاعل المصرى كانت قدرته ١٠ ٪ من قدرة المفاعل الإسرائيلى فى ذلك الوقت، وحينما شرعت مصر فى بناء مفاعل بحثى آخر لم تتعد قدرته ٢٢ ميجاوات.

ومن المؤسف أنه رغم تزايد الطلب فى مصر على الكهرباء فى وقت استغلت فيه مصر تقريبا كل إمكانيات توليد الكهرباء من المصادر المائية، وعدم وجود مصادر ذات بال من الفحم، وتوقع نضوب مصادر البترول والغاز خلال عدة عقود قادمة؛ ولهذا فإنه يلزم البدء فى إدخال محطات تعمل بالطاقة النووية إلى الشبكة الكهربية الموحدة واستغلالها فى تحلية المياه المالحة لمواجهة ندرة المياه التى نواجهها. ولكن أعلن السيد الرئيس فى الاحتفال بالعيد الخمسين لجامعة الإسكندرية فى ١٩٩٢/ ٧/٨ أن شراء مفاعلات نووية لإنتاج الكهرباء يمثل عبئا اقتصاديا ضخما على كاهل الميزانية بما يترتب عليه زيادة أعباء الديون التى تتحملها الأجيال القادمة علاوة على عدم توافر الفنيين والعمال اللازمين لتشغيل هذه المفاعلات وصعوبة احتواء أى حوادث تنتج عن تشغيلها كما حدث فى مفاعل تشيرنوبل بالاتحاد السوفيتى وهو ما يعد ضربة مميتة للبرنامج النووى على الأقل فى المدى المنظور. ويعكس ذلك تأثر القيادة السياسية فى مصر بالموقف المعادى للطاقة النوية الناجم عن الإشكاليات المتعلقة بها. ومن ناحية أخرى فهناك مجموعة من الإشكاليات الخاصة باستخدام الطاقة النووية فى مصر يمكن إيجازها كما يلى :

### معارضة الغرب والولايات المتحدة :

لا يرغب الغرب بشكل عام والولايات المتحدة على وجه الخصوص فى إدخال التكنولوجيا النووية إلى منطقة الشرق الأوسط قبل استكمال عملية السلام الجارية حاليا فى ضوء الهيمنة الإسرائيلية نتيجة لعلاقاتها العضوية مع الولايات المتحدة الأمريكية لانفرادها بامتلاك تكنولوجيا نووية للاستخدامات العسكرية وبأفضل نتائج الثورة العلمية التكنولوجية الراهنة.

ومن المفارقات المحزنة أن مصر قد استدرجت لارتكاب خطأ استراتيجى بالانضمام إلى اتفاقيةحظر الانتشار النووى، فى الوقت الذى ترفض فيه إسرائيل

الانضمام لهذه الاتفاقية، على أمل أن تتمكن من إنجاز برنامجها النووى الذى كان يستهدف إنشاء ثمانى محطات نووية قدرتها الإجمالية ٨٠٠٠ ميجاوات حتى عام ٢٠٠٠ . إلا أنها سرعان ما نالت جزاء سنمار وبدأت الضغوط الأمريكية وغيرها، على النحو الذى أوضحناه، لمنعها من اكتساب الخبرات التكنولوجية فى هذا المجال التى يمكن أن تمثل المعادل الموضوعى لتفوق إسرائيل النووى، وهو ما استجابت له الحكومة بكل أسف.

## تنامى الإحساس بالدونية بين بعض قطاعات النخبة المصرية :

ويتمثل ذلك فى التخوف من أداء الإنسان المصرى وإمكان تعامله مع التكنولوجيا النووية المعقدة؛ نظرا لعدم استعداده للانضباط أو الجدية فى العمل، حيث اعتبرت هذه دعوة مغرضة نتيجتها استمرار التخلف التكنولوجى، ذلك مع اعتبار أن مصر فى تعاملها مع التكنولوجيا لن تكون أقل قدرة من الهند أو باكستان أو المكسيك وغيرها من الدول التى لا تختلف عن مصر من حيث درجة التقدم. ويعضد هذا بالطبع التشغيل الآمن لمفاعلات مصر البحثية الذى بدأ منذ حوالى خمسة عقود والتعامل مع تكنولوجيا معقدة مثل الطائرات سواء الحربية أو المدنية ومحطات توليد الكهرباء التقليدية ... إلخ.

## دوافع استخدام الطاقة النووية فى مصر :

يمكن استخدام الطاقة النووية فى توليد الكهرباء وتحلية مياه البحر بدلا من الوقود الأحفورى (الفحم، البترول، الغاز الطبيعى) أن تحقق العديد من المزايا لمصر أهمها.

١ – تعظيم القيمة المضافة عن طريق استخدام البترول والغاز فى الصناعات البتروكيماوية بدلا من تصديره كمادة خام.

٢ – رغم أن مصر ليست دولة منتجة لليورانيوم وأنها سوف تضطر لاستيراده إلا أنه من الملاحظ أن أسعاره منخفضة – ومن المتوقع أن تنخفض أكثر . نظرا لتزايد المعروض منه فى السوق العالمى عن الطلب، ومن ناحية أخرى فإنه بسبب صغر حجم الوقود المطلوب فإنه يمكن استيراده وتخزين الوقود المطلوب لعدة سنوات، وهو ما لا يمكن حدوثه بالنسبة للمحطات التى تعمل بالوقود

الأحفورى (الطاقة الناتجة من ١ كجرام يورانيوم تعادل ١٦٠٠ طن بترول أو ٢٤٠٠ طن فحم).

٣ - حماية البيئة من التلوث نظرا لأن المحطات النووية لا ينتج عن تشغيلها العادى انبعاث غازات ملوثة للبيئة مثل أكاسيد النتروجين التى تسبب الأمطار الحمضية أو ثانى أكسيد الكربون الذى يساهم فى زيادة تأثير الصوبة (الاحتباس الحرارى) ويرفع من درجة حرارة الأرض، وبالطبع لا ينتج عنها رماد أو غيره من الجسيمات العالقة بالهواء.

٤ - يمكن عن طريق شبكات الربط المزمع إقامتها مع أوروبا عن طريق الأردن - سوريا - تركيا من جهة الشمال ودول شمال أفريقيا من جهة الغرب أن تصدر مصر الفائض لديها من الطاقة الكهربية والذى يمثل قيمة مضافة عالية.

٥ - تحقيق التوازن الاستراتيجى مع إسرائيل بتبنى برنامج طموح للاستخدامات السلمية للطاقة الذرية، وفى القلب منها إنشاء محطات نووية لتوليد الكهرباء وإزالة ملوحة مياه البحر، وقد أثبتت حركة التاريخ أن تصميم قنبلة ذرية أسهل - إذا ما توافرت الإرادة السياسية - من تصميم مفاعل نووى. فقد كان الاستخدام الأول للطاقة الذرية هو إنتاج القنابل الذرية فى نهاية الحرب العالمية الثانية، بينما احتاج العالم للانتظار ما يقرب من عقد كامل لإنشاء أول مفاعل نووى لتوليد الكهرباء.

من ناحية أخرى، يتطلب إدخال المحطات النووية والتكنولوجيا النووية إلى أى دولة بما فيها مصر بعض الجوانب التى تضع متطلبات جديدة على عاتق البنية الأساسية للدولة والهياكل التنظيمية والأنشطة التى تواكبها.

**٧ - العوامل المساعدة على استخدام الطاقة النووية فى مصر:**

رغم المعارضة الأمريكية لدخول مصر العصر النووى بإنشاء محطات قوى نووية لتوليد الكهرباء وتحلية مياه البحر، إلا أن الولايات المتحدة ليست اللاعب الوحيد فى الساحة الدولية، فقد نجحت إيران فى توقيع اتفاق مع روسيا لاستكمال محطة بوشهر- التى كانت قد توقفت بعد الثورة الإيرانية

عام ١٩٧٩ . ويمكن لمصر إذا ما توافرت لديها الإرادة السياسية أن تفعل الشيء نفسه، ويساعد فى ذلك توافر مجموعة من العوامل المساعدة داخليا ودوليا نوجزها فيما يلى :

## العوامل الداخلية :

أهمها تبدل المزاج الشعبى ومواقف النخبة السياسية من موضوع استخدام المحطات النووية كأداة لتحقيق التوازن الاستراتيجى مع إسرائيل التى تنفرد فى المنطقة بامتلاك السلاح النووى. وقد بدأ هذا الموقف الجديد فى التبلور فى خضم المناقشات التى دارت بمناسبة تجديد معاهدة حظر الانتشار النووى عام ١٩٩٥ . فقد أدى التجديد اللانهائى للمعاهدة، وتدمير مقدرات العراق النووية بعد حرب الخليج، إلى تزايد إحساس الشعب المصرى وقطاعات من النخبة السياسية بخيبة الأمل. وارتفعت أصوات عديدة تدعو إلى استئناف البرنامج النووى المصرى السلمى الذى بسببه انضمت مصر إلى المعاهدة.

## العوامل الخارجية :

شهدت الساحة الدولية تغيرات عديدة فى كل المجالات يمكن أن يكون لها انعكاسات على عودة الاعتماد على الطاقة النووية كمصدر بديل للوقود الأحفورى على مستوى الدول الصناعية المتقدمة وفتح الباب أمام دول العالم الثالث، ويمكن تلخيص أهم هذه العوامل فيما يلى :

- تزايد الاهتمام بقضايا البيئة واتفاقية كيوتو.
- ظهور منافسين جدد فى مجال تصدير المحطات النووية.
- ركود الصناعة النووية فى الغرب.

### ١ – تزايد الاهتمام بقضايا البيئة واتفاقية كيوتو :

تزايد فى السنوات الماضية القلق من انبعاث غاز ثانى أكسيد الكربون الناتج من احتراق الوقود الأحفورى وتأثيره على المناخ وخاصة على درجة حرارة الأرض عن طريق ما يعرف بالاحتباس الحرارى، واحتمالات فرض ضريبة الكربون إذا ما زادت الانبعاثات عن حد معين مما سيعطى الطاقة

النووية مميزات اقتصادية مقارنة بالمحطات التى تعتمد على الوقود التقليدى سواء الفحم أو المنتجات البترولية أو الغاز الطبيعى.

وقد وافقت الدول المنضمة إلى اتفاقية كيوتو على تخفيض انبعاثات غازات الاحتباس الحرارى، حيث اتفقت هذه الدول أيضا فى المادة ١٢ من الاتفاقية على ما يسمى بآلية التنمية النظيفة التى تهدف إلى مساعدة الدول غير المدرجة فى الملحق - ١ للاتفاقية على تنفيذ التزاماتها الخاصة بالحد من وتخفيض الانبعاثات المحددة. وبمقتضى هذه الآلية يمكن للدول الصناعية بدلا من تخفيض الانبعاثات داخل حدودها أن تساعد دولة نامية فى عمل مشروعات تمثل البديل الأفضل بالنسبة للانبعاثات ولا تكون أكثر البدائل اقتصادية. ويجب كى تستفيد الدول النامية من هذه الآلية أن يكون المشروع المقترح هو البديل الأفضل من ناحية تقليل الانبعاثات وألا يكون أكثر البدائل اقتصادية. رغم أن هذه الآلية لم تخرج إلى حيز التطبيق بعد، إلا أنها يمكن أن تتيح آلية لتمويل المحطات النووية إذا ما كان البديل التالى لها من حيث التكلفة هو محطات ضخمة تعمل بالفحم أو غيره من الوقود الأحفورى. أما إذا كان البديل النووى هو الأكثر اقتصادية فإنه لا يستحق الدعم المالى بواسطة هذه الآلية؛ نظراً لأن اقتصادية أى مشروع تكون عادة هى السبب الرئيسى لتنفيذه.

٢ - ركود الصناعة النووية فى الغرب :

كان لتراجع الطلب على المحطات النووية أثر كبير على الصناعة النووية فى الدول الغربية وخاصة فى الولايات المتحدة الأمريكية، وقد نتج عن هذا شراء الشركات الأمريكية المصنعة للمحطات النووية بواسطة شركات أوروبية متعددة الجنسية. وقد تم مؤخرا تطوير مفاعلات متقدمة نمطية، وتم الحصول على موافقة سلطات التنظيم والرقابة النووية عليها مثل مفاعل AP 600 من مفاعلات الماء المضغوط ومفاعل ABWR و System 80+ من مفاعلات الماء المغلى وجميعها أمريكية. كما تم تطوير مفاعل Candu - 6 من مفاعلات الماء الثقيل المضغوط فى كندا ومفاعل (Konvoy) الذى اشترك فى إنتاجه شركات فرنسية وألمانية وهو من مفاعلات الماء المضغوط.

وجميع هذه الشركات تسعى لتصدير مفاعلاتها، ويمكن لمصر أن تحصل على أسعار وشروط دفع مناسبة من خلال تنافس هذه الشركات.

**٣ – ظهور منافسين جدد :**

فى فترة تراجع الطلب على المحطات النووية فى بلدان الغرب استمرت بعض الدول فى تطوير برامجها النووية وقامت بإنشاء العديد من المحطات النووية بعضها من تصميمها وتصنيعها. وقد بدأت هذه الدول مؤخرا فى التطلع للأسواق الخارجية وتشمل هذه الدول: اليابان التى بدأت فى بناء مفاعل متقدم من مفاعلات الماء المغلى فى تايوان، وكوريا الجنوبية التى تقوم ببناء مفاعل فى كوريا الشمالية من تصميمها وتصنيعها، ويمكن أن نضيف الصين التى انتهت من إنشاء محطة نووية فى باكستان مع بدايات عام ٢٠٠١ .

كذلك فقد نتج عن تفكك الاتحاد السوفيتى والمصاعب الاقتصادية التى تواجهها روسيا الاتحادية السعى الحثيث لتعويض الأسواق التى فقدتها صناعتها النووية فى دول شرق أوروبا؛ ولذا فقد تحدت الولايات المتحدة وقررت مساعدة إيران فى استكمال مفاعلها فى بوشهر – ١ ويمكن الحصول على مفاعلات WWER-1000 الروسية وهى من مفاعلات الماء المضغوط وتضارع كثيرا المفاعلات الغربية. وتقوم روسيا حاليا بإنشاء محطة من هذا النوع فى الصين كما وصلت المفاوضات مع الهند إلى مرحلة متقدمة لإنشاء محطتين من هذا النوع.

**٤ – مخاطر تصنيع أسلحة نووية :**

تستطيع معظم الدول التى تمتلك مفاعلات نووية تجارية إنتاج قنبلة ذرية، فالبلوتونيوم ٢٣٩ يصنع داخل هذه المفاعلات ويكفى ٤ كجرام منه لصنع قنبلة ذرية وحتى ٢ كجرام تكون كافية. اليورانيوم ٢٣٥ هو وقود أغلب المفاعلات ويكفى ١١ كجراما منه لعمل قنبلة ذرية. كذلك فإن تكاليف المفاعلات النووية العالية سيؤدى إلى تدفق رءوس الأموال من الدول الفقيرة إلى الدول الغنية وسيؤدى إلى استعمار تكنولوجى؛ ولذلك فإن من الأفضل للدول النامية المواءمة ما بين إمكانياتها المادية وحاجتها إلى الطاقة النووية.

**جدول (٢/٩) : مفاعلات القوى النووية فى العالم فى نهاية عام ١٩٩٨**

| الدولة | المفاعلات العامة | | المفاعلات تحت الإنشاء | | الكهرباء المنتجة نوويا | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | عدد الوحدات | إجمالى القدرة ميجاوات | عدد الوحدات | إجمالى القدرة ميجاوات | الكمية تيراوات سعة | النسبة من الإجمالى ٪ |
| أرمينيا | ١ | ٣٧٦ | – | – | ١,٤٢ | ٢٤٥٩ |
| أسبانيا | ٩ | ٧٣٧٧ | – | – | ٥٦,٦٨ | ٣١,٦٦ |
| ألمانيا | ٢٠ | ٢٢٢٨٢ | – | – | ١٤٥,٢٠ | ٢٨,٢٩ |
| أوكرانيا | ١٦ | ١٣٧٦٥ | ٤ | ٣٨٠٠ | ٧٠,٦٤ | ٤٥,٤٢ |
| إيران | – | – | ٢ | ٢١١١ | – | – |
| الأرجنتين | ٢ | ٩٣٥ | ١ | ٦٩٢ | ٦,٩٣ | ١٠,٠٤ |
| البرازيل | ١ | ٦٢٦ | ١ | ١٢٢٩ | ٣,٣٢٧ | ١,٠٨ |
| التشيك | ٤ | ١٦٤٨ | ٢ | ١٨٢٤ | ١٢,٣٥ | ٢٠,٥ |
| السلوفاك | ٥ | ٢٠٢٠ | ٣ | ١١٦٤ | ١١,٣٩ | ٤٣,٨ |
| السويد | ١٢ | ١٠٠٤٠ | – | – | ٧٠,٠٠ | ٤٥,٧٥ |
| الصين | ٣ | ٢١٦٧ | ٦ | ٤٤٢٠ | ١٣,٤٦ | ١,١٦ |
| المجر | ٤ | ١٧٢٩ | – | – | ١٣,١٢ | ٣٥,٦٢ |
| المكسيك | ٢ | ١٣٠٨ | – | – | ٨,٨٣ | ٥,٤١ |
| المملكة المتحدة | ٣٥ | ١٢٩٦٨ | – | – | ٩١,١٤ | ٢٧,٠٩ |
| الهند | ١٠ | ١٦٩٥ | ٤ | ٨٠٨ | ١٠,١٥ | ٢,٥١ |
| الولايات المتحدة | ١٠٤ | ٩٦٤٢٣ | – | – | ٦٧٣,٧٠ | ١٨,٦٩ |
| اليابان | ٥٣ | ٤٣٦٩١ | ٢ | ١٨٦٣ | ٣٠٦,٩٤ | ٣٥,٨٦ |
| باكستان | ١ | ١٢٥ | ١ | ٣٠٠ | ٠,٣٤ | ٠,٦٥ |
| بلجيكا | ٧ | ٥٧١٢ | – | – | ٤٣,٨٩ | ٥٥,١٦ |
| بلغاريا | ٦ | ٣٥٣٨ | – | – | ١٥,٤٩ | ٤١,٥٠ |
| تايوان | ٦ | ٤٨٨٤ | ١ | ١٣٠٠ | ٣٥,٤١ | ٢٤,٧٧ |
| جنوب أفريقيا | ٢ | ١٨٤٢ | – | – | ١٣,٥٨ | ٧,٢٥ |
| روسيا | ٢٩ | ١٩٨٥٣ | ٤ | ٣٣٧٥ | ٩٥,٥٨ | ١٣,٠٨ |

| الدولة | المفاعلات العامة | | المفاعلات تحت الإنشاء | | الكهرباء المنتجة نوويا | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | عدد الوحدات | إجمالى القدرة ميجاوات | عدد الوحدات | إجمالى القدرة ميجاوات | الكمية تيراوات سعة | النسبة من الإجمالى % |
| رومانيا | ١ | ٦٥٠ | ١ | ٦٥٠ | ٤,٩٠ | ١٠,٣٥ |
| سلوفينيا | ١ | ٦٣٢ | – | – | ٤,٧٩ | ٣٨,٣٣ |
| سويسرا | ٥ | ٣٠٧٩ | – | – | ٢٤,٣٧ | ٤١,٠٧ |
| فرنسا | ٥٨ | ٦١٦٥٣ | ١ | ١٤٥٠ | ٣٥٨,٤٠ | ٧٥,٧٧ |
| فنلندا | ٤ | ٢٦٥٦ | – | – | ٢٠,٩٨ | ٢٧,٤٤ |
| كازاخستان | ١ | ٧٠ | – | – | ٠,٠٩ | ٠,١٨ |
| كندا | ١٤ | ٩٩٩٨ | – | – | ٦٧,٥٠ | ١٢,٤٤ |
| كوريا الجنوبية | ١٥ | ١٢٣٤٠ | ٣ | ٢٥٥٠ | ٨٥,١٩ | ٤١,٣٩ |
| ليتوانيا | ٢ | ٢٣٧٠ | – | – | ١٢,٢٩ | ٧٧,٢١ |
| هولندا | ١ | ٤٤٩ | – | – | ٣,٥٩ | ٤,١٣ |

المصدر : الوكالة الدولية للطاقة الذرية .

# الباب الثالث

# مصادر الطاقة الجديدة والمتجددة

- **الفصل العاشر:** الطاقة الشمسية
- **الفصل الحادى عشر:** طاقة الرياح
- **الفصل الثانى عشر:** طاقة الكتلة الحيوية
- **الفصل الثالث عشر:** التحويل الكهربى لحرارة المحيطات
- **الفصل الرابع عشر:** طاقة الحرارة الأرضية
- **الفصل الخامس عشر:** طاقة المد والجزر
- **الفصل السادس عشر:** طاقة الأمواج

# الفصل العاشر

# الطاقة الشمسية

## ١ - مقدمة :

الإشعاع الشمسى الذى يسقط على الأرض يمثل أكبر مصدر طاقة أساسى وغير متقطع والذى هو أصل ومصدر كل أشكال الطاقة التقليدية وغير التقليدية أو المتجددة وغير المتجددة والاستثناء الوحيد هو الطاقة النووية.

النبات يستخدم الطاقة الشمسية فى عملية التمثيل الضوئى لتحويل الكربون من $CO_2$ الموجود فى الهواء الجوى إلى أنسجة نباتية والتى تشكل الكتلة الحيوية النباتية (Plant Biomass) . يستخدم الإنسان والحيوان تلك الكتلة الحيوانية النباتية كغذاء للحصول على طاقة الأنسجة الحيوانية المخلقة، نتيجة استهلاك الغذاء النباتى تصبح الكتلة الحيوانية النباتية (Animal Biomass) أو (Zoomass) . هذه الكتلة الحيوية الحيوانية تصبح غذاء ومصدرا للطاقة للكائنات آكلة اللحوم.

بجانب توفير الطاقة الغذائية فإن الكتلة الحيوية النباتية هى كذلك المصدر الرئيسى للطاقة – حيث تتحول مباشرة إلى طاقة حرارية بالحرق أو تتحول إلى كيماويات (الميثانول ، الميثان، فحم ... إلخ) والتى تصبح بالتالى مصدرا للطاقة. كذلك فإن مصادر الطاقة التقليدية مثل البترول والغاز وكذلك الفحم هى طاقة شمسية فى الأصل حيث كانت نتيجة فعل الحرارة والضغط والزمن على الكائنات النباتية والحيوانية التى وجدت منذ ملايين السنين.

الحرارة الناتجة من أشعة الشمس تسبب البخر المستمر للماء من المحيطات، والبحار، والبحيرات، والأنهار، والنباتات والتربة. كذلك فإن أشعة الشمس تسبب السخونة للهواء الجوى. بسبب الاختلافات فى طبيعة الأراضى، الارتفاعات والمسافات من الشمس فإن هذه السخونة ليست موحدة حيث يكتسب الهواء درجات حرارة

مختلفة عند أماكن مختلفة أفقيا وكذلك رأسيا. هذا يؤدى إلى حدوث اختلافات فى الضغط والذى بدوره يؤدى إلى حدوث تحركات للكتل الهوائية البطيئة والسريعة والتى ينتج عنها طاقة الرياح.

تبخير المياه مع حركة الريح ينتج عنه ما نسميه بالدورة الهيدرولوجية والتى تؤدى إلى سقوط الأمطار والتغيرات المناخية. الماء عند وجوده على ارتفاع ما وعند السماح له بالتدفق بالجانبية فإنه يكون مصدرا كبيرا للطاقة (الطاقة المائية).

الأمواج التى توجد فى المحيطات بفعل الرياح والدفع بالجاذبية (Gravitational Pull) للشمس والقمر تحتوى طاقة أمواج (Wave Energy). الشمس تعمل على تسخين الطبقة العليا للمحيطات (حتى العمق الذى يصل إليه ضوء الشمس والذى يعتمد بالتالى على مدى عكارة مياه البحار والمحيطات). هذا الاختلاف فى درجات الحرارة يستخدم لتوليد طاقة البحار الحرارية (Oceon Thermal Energy).

لذلك فإن مصادر الطاقة المتجددة، باستثناء الطاقة النووية (طاقة الانشطار النووى) هى طاقة شمسية فى الأصل.

## ٢ - تاريخ الاستخدام للطاقة الشمسية :

إن أقدم استخدام للطاقة الشمسية عرفه الإنسان هو تدفئة وتجفيف الجسم بأشعة الشمس خلال فصول الشتاء، وقد ظل الاستخدام المكثف للطاقة الشمسية متمثلا فى تجفيف الملابس، والحاصلات الزراعية، وإنتاج الملح من مياه البحر. كل التجهيزات الأخرى لحصد الطاقة الشمسية تعتبر حديثة، مع استثناءات قليلة سنذكر منها.

استخدم أرشميدس المرايا لتوجيه أشعة الشمس نحو فلول الأعداء المهاجمة فى عام ٢١٢ قبل الميلاد، حيث أحرق أشرعتهم وقلاعهم على مسافة عدة مئات من الأقدام. فى القرن السابع عشر والثامن عشر كان هناك اهتمام علمى نحو تركيز أشعة الشمس بالمرايا أو العدسات لصهر المعادن. كما حصل أنطوان لافوازيه أبو الكيمياء الحديثة، على درجة حرارة حتى ١٧٠٠°م (٣١٠٠ درجة فهرنهيت) باستخدام أشعة الشمس. واحد من أكبر الأفران الشمسية القوية المستخدمة حاليا فى نيومكسيكو حيث تم الوصول إلى درجة حرارة ٣٠٠٠ درجة فهرنهيت. وقد تم إنتاج غلايات البحار

الشمسية فى القرن التاسع عشر لإنتاج البخار المستخدم فى تشغيل المحركات. وقد قام الفرنسى (Mouchot) بتشغيل مطبعة فى عام ١٨٧٨ باستخدام البخار المنتج من تجهيزة مشابهة لتلك. كذلك فإن المشروع الكبير لاستخدام الطاقة الشمسية حدث فى شيلى فى عام ١٨٧٠ حيث تم بناء سخان شمسى بمسطح ٨٠٠٠٠ قدم مربع لإنتاج ٦٠٠٠ جالون من الماء العذب يوميا. فى هذا المشروع استخدم سقف زجاجى مائل على صوانى بها ماء مالح، الماء الذى يتبخر من الصوانى يتكثف على الزجاج، ويسقط نحو حوض التجميع.

المحاولات لاستخدام الطاقة الشمسية فى طهى الطعام تمت من آن إلى آخر. فى عام ١٧٦٧ قام العالم السويدى (Desaussure) بالحصول على درجة حرارة مرتفعة بما يكفى للطهى فى صندوق معزول بعدة أغطية زجاجية. واستخدم (Mouchot) هذا المبدأ فى عام ١٨٦٠ باستخدام عاكس ذى القطع المكافئ، لتركيز الإشعاع الشمسى على وعاء نحاسى أسود (محتويا الطعام) الذى كان موجودا فى إناء زجاجى. تجارب كلاسيكية أخرى باستخدام أدوات الطهى الشمسية تمت بواسطة ويليام آدمز فى الهند فى عام ١٨٧٠ ، فقد أمكنه طهى اللحم والبطاطس لعدد سبعة جنود فى خلال ساعتين وذلك فى شهر يناير أبرد شهور العام فى مدينة بومباى. وفى عام ١٩١٣ أقام شومان جهازا فى مصر بالقرب من المعادى لتحويل الماء إلى بخار باستخدام المرايا المقعرة والتى تتبع الشمس فى دورانها. واستعمل البخار الناتج من هذا الجهاز فى إدارة آلات تصل قوتها إلى مائة حصان، لرفع المياه من النيل ورى الأراضى.

وفى الولايات المتحدة تم تطوير الكثير من المطابخ الشمسية أو ما يسمى بالصناديق الساخنة (Hot Boxes) بواسطة (Haria Telkes) فى عام ١٩٥٠ . استخدمت عاكسات إضافية للوصول إلى درجات حرارة أعلا.

كان أول استخدام لنظام التسخين الشمسى للماء فى الولايات المتحدة، حيث تم عمل الآلاف واستخدمت فى جنوب كاليفورنيا فى الفترة من ١٩٠٠ حتى ١٩٢٠ وفى جنوب فلوريدا فى الفترة ما بين ١٩٢٠ ، ١٩٤٠، ولكن قلت الإنشاءات الجديدة عندما أصبحت وفرة الغاز الطبيعى من الوسائل المستخدمة لتسخين المياه المنزلية بتكلفة أقل.

## - التكنولوجيات المبنية على اقتناص الحرارة من ضوء الشمس

### أ - نظم التسخين الشمسى للماء :

بعد عام ١٩٥٠ حدث تطور كبير فى تصميمات سخانات الماء وخاصة فى إسرائيل وأستراليا واليابان، وذلك من خلال استخدام موصل حرارى أفضل بين المعدن الأسود والمواسير التى تدور المياه خلالها وكذلك بتطوير الأسطح السوداء التى توفر أكبر استعادة للحرارة من الشمس. حاليا حوالى ٢٠٪ من المساكن فى إسرائيل لديها سخانات شمسية للمياه. وفى أستراليا يتم حاليا إنتاج ١,٥ مليون وحدة فى العام، حيث يتم فى شمال أستراليا تسخين المياه المنزلية باستخدام الطاقة الشمسية. وفى الأعوام الأخيرة أخذت تدور حول الأرض الأقمار الصناعية التى أطلقت إلى الفضاء، والتى ترسل إلى المحطات الأرضية الإشارات والتقارير التى تسجلها الأجهزة الإلكترونية التى تغذيها بالكهرباء بطاريات شمسية. وما يدعو إلى الإعجاب أن قوة تلك البطاريات التى تحول أشعة الشمس إلى كهرباء لم تضعف حتى الآن.

### ب- طيف الإشعاع الشمسى :

يتكون الإشعاع الشمسى من طيف من موجات كهرومغناطيسية تقسم إلى قطاعات حسب أطوالها الموجبة كما فى الجدول التالى :

جدول (١٠/١) : طيف الإشعاع الشمسى الكهرومغناطيسى

| نوع الأشعة | نطاق الأطوال الموجية λ (ميكرون) |
|---|---|
| الأشعة الكونية | أقل من $١٠^{١١}$ |
| أشعة جاما | $١٠^{٨} < \lambda < ١٠^{٤}$ |
| الأشعة السينية | $١٠^{٥} < \lambda < ١٠^{٢}$ |
| الأشعة فوق البنفسجية | $١٠^{٢} \times ٢ < \lambda < ٠,٤$ |
| الضوء المرئى | $٠,٤ < \lambda < ٠,٧٥$ |
| الأشعة تحت الحمراء | $٠,٧٥ < \lambda < ١٠٠$ |
| أمواج الراديو | $١٠٠ < \lambda < ١٠^{١٠}$ |

(١ ميكرون = ١ : مليون متر)

من هذا الطيف الكبير للموجات الكهرومغناطيسية تشعر فقط بالموجات فى نطاق الأطوال من ٠,١٠ إلى ١٠٠ ميكرون، حيث تسبب هذه الموجات إحساسنا بالحرارة وبالتالى تسمى بالإشعاع الحرارى. والجدير بالذكر أن نطاق الضوء المرئى يحتل جزءا يسيرا من طيف الإشعاع الحرارى.

ويبين الجدول التالى التوزيع الطاقى لبعض نطاقات هذا الطيف القادم من الشمس.

**جدول (٢/١٠) : التوزيع الطاقى لطيف الإشعاع الشمسى الحرارى**

| نطاق الأطوال الموجبة | صفر – ٠,٤ | ٠,٤ – ٠,٧٥ | ٠,٧٥ – ٤,٠٠ |
|---|---|---|---|
| الطاقة التقريبية (وات / المتر المربع) | ٩٥ | ٦٤٠ | ٦١٨ |
| النسبة المئوية التقريبية من الطاقة الكلية | ٪٧ | ٪٤٧ | ٪٤٦ |

يتضح من هذا الجدول أن الضوء المرئى يحتوى على حوالى نصف الطاقة الكلية للطيف الكهرومغناطيسى القادم من الشمس.

ويحتوى الغلاف الجوى على غاز الأوزون وبخار الماء وجسيمات الهواء وبعض الجسيمات العالقة كالغبار وبخار الماء التى تؤدى كلها إلى إضعاف الإشعاع الشمسى نتيجة امتصاصه أو تبعثره فى نطاقات موجية مختلفة. فيكون ضعفه فى الطيف المرئى ناتجا عن امتصاصه بواسطة غاز الأوزون. أما امتصاصه بواسطة بخار الماء فيحدث فى الطيف تحت الأحمر. ومن جهة أخرى يضعف الإشعاع الشمسى عند الأطوال الموجية القصيرة نتيجة تبعثره بواسطة جسيمات الهواء، بينما لا يكون تبعثره بواسطة قطرات الماء المعلقة فى الجو حساسا إلا عند الأطوال الموجية الكبيرة نسبيا.

## ٣ - سلوك الطاقة الشمسية :

تسع الشمس ما يعادل ١٢ كوادرليون – كواد سنويا (كوادرليون = $10^{15}$ كواد، كواد = مليون Btu). وتنطلق هذه الإشعاعات فى الفضاء فى جميع الاتجاهات.

وتعترض الأرض حوالى ٢ على مليار من قيمتها. وبالقرب من خط الاستواء بين خطى عرض ٣٨° شمالا و٣٨° جنوبا تمتص الأرض الحرارة بصفة مستمرة. أما بالقرب من القطبين حيث تكون درجة الحرارة أقل بكثير فيوجد فقد مستمر فى الحرارة. وبالتالى فإن المحصلة تقارب الصفر.

والطاقة القادمة من الشمس تتعاظم عند طول موجى يساوى ٠,٤٨ ميكرون وتحتوى على الأشعة تحت الحمراء والمرئية وفوق البنفسجية. وتبلغ كمية الطاقة الشمسية التى تعترضها الأرض وجوها ٥,٤ مليون كواد سنويا. تنعكس بعض هذه الطاقة مباشرة من الجو المحيط إلى الفضاء الخارجى كما يمتص بعضها خلال السحب وبعضها فى الجو الصافى. ويبلغ ٩ ٪ من الطاقة الكلية لسطح الأرض ولكن طوله الموجى يجعله ينعكس من سطح الأرض كما لو كان قد سقط على سطح مرآة. وتصل ٤٧ ٪ من طاقة ٥,٤ مليون كواد السنوية إلى سطح الأرض حيث تمتص.

**٤ - الطاقة الشمسية فى العالم العربى :**

يتكون العالم العربى من ٢٢ دولة تشغل منطقة جغرافية تمتد من المحيط الأطلنطى (خط طول ١٧° غرب) إلى المحيط الهندى (خط طول ٦٠° شرق) وفى الجنوب من وسط أفريقيا (خط عرض ٢° شمال إلى شاطئ البحر الأبيض المتوسط (خط عرض ٣٧,٥° شمال). أى مساحة كلية مقدارها ١٣٧٠٠٠٠٠ (ثلاثة عشر مليون وسبعمائة ألف كيلومتر مربع) ويبلغ عدد السكان مائة وستة وستين مليون نسمة طبقا لتعداد ١٩٨٠ .

ويبلغ المتوسط السنوى للإشعاع الشمسى الكلى الساقط على المستوى الأفقى حوالى خمسة كيلوات ساعة لكل متر مربع فى اليوم الواحد. وهذا يعنى أن الدول العربية تتلقى طاقة شمسية مقدارها $10,65^{11}$ كيلوات ساعة، وهذا يعادل $34,25 \times 10^{8}$ ميجاوات ساعة من الطاقة الكهربية إذا استخدمت خلايا شمسية ذات كفاءة ٥ ٪. وهذا بالتالى يكافئ ٣٨٣,٧٥ مليون برميل بترول يوميا أى ما يعادل عشرين ضعف إنتاج البترول لدول الأوبك فى الوقت الحاضر. كما تقدر عدد ساعات سطوع الشمس فى معظم الدول العربية بثلاثة آلاف ساعة سنويا : (شكل ١/ ١٠) حيث يلزم الاستفادة من هذه الطاقة المجانية العملاقة التى أنعم الله سبحانه وتعالى علينا.

## كفاءة التحويل للطاقة الشمسية :

للاستفادة من الطاقة الشمسية على الوجه الأكمل فإنه يلزم تحويلها إلى طاقة حرارية أو ميكانيكية أو كهربائية بواسطة سلسلة من العمليات تتطلب كل منها استخدام جهاز تحويل مناسب.

وينتج عن عملية تحويل الطاقة الشمسية فقدان بعض الطاقة. بحيث لا يمكن تحويل سوى جزء محدود من الطاقة الشمسية. وتطلق عبارة كفاءة التحويل على نسبة الطاقة المفيدة إلى كمية الإشعاع الشمسى الساقط على الجهاز ويمكن تمثيلها بالمعادلة.

$$\text{كفاءة التحويل للجهاز} = \frac{\text{الطاقة المفيدة (حرارية أو ميكانيكية أو كهربائية)}}{\text{الطاقة الشمسية الساقطة على جهاز التحويل}}$$

## ٥ - الطاقة الشمسية فى خدمة الأسرة والمجتمع :

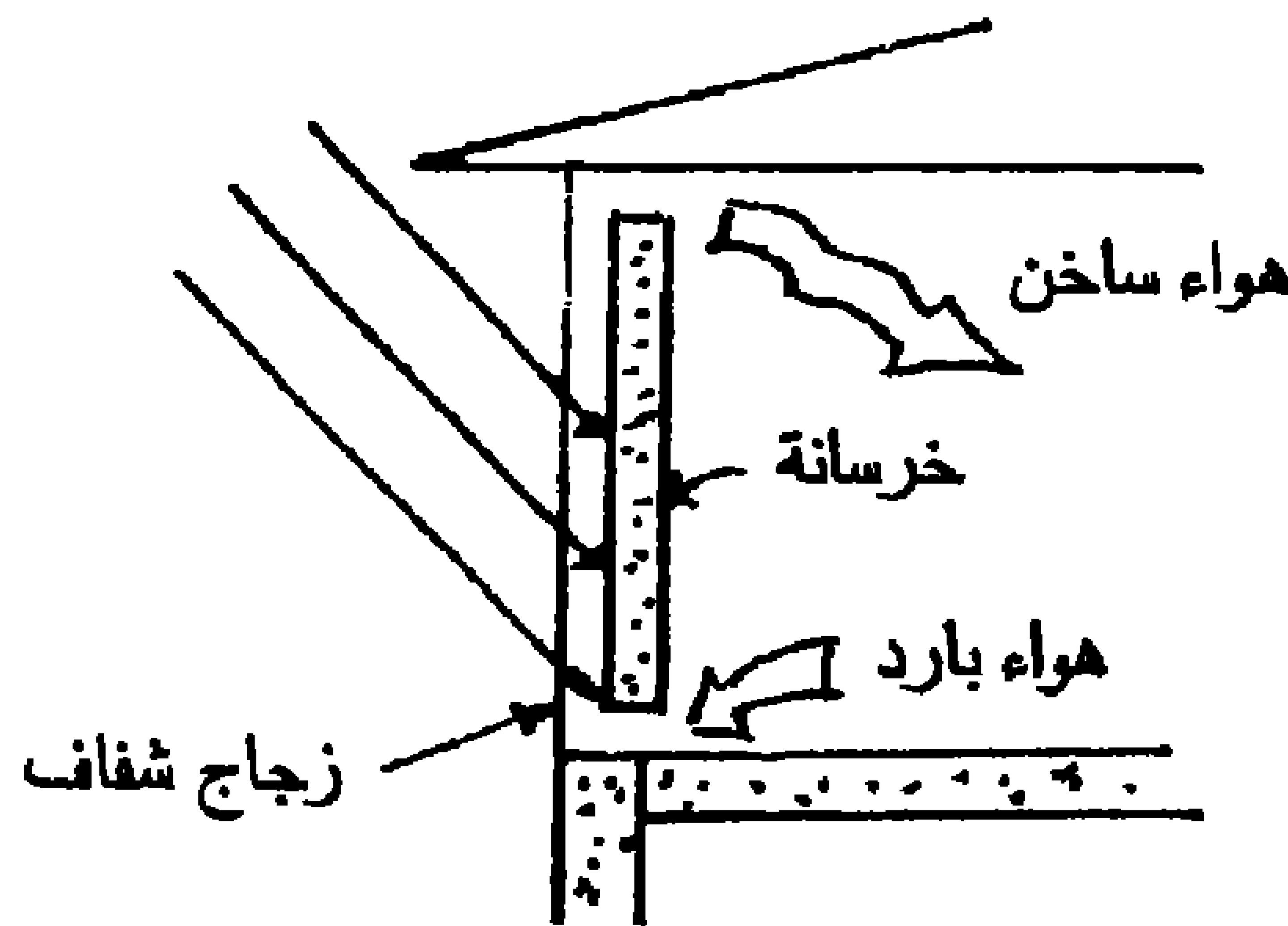
تعتبر الاستعمالات المنزلية أولى التطبيقات العملية التى يمكن استخدامها بتركيبات بسيطة ونفقات قليلة، مثل التدفئة وتسخين الماء وتكييف الهواء، والتبريد فى ثلاجات شمسية وتقطير المياه المالحة لتكون صالحة للشرب، وتكون فى الغالب بطريقة الصندوق الزجاجى، فى حين يستعمل تركيز المرايا فى طهى الطعام وتجفيف الفاكهة والخضر والحصول على القوى المحركة ودرجات الحرارة العالية للصناعة. أما عملية تخزين الحرارة فى المنزل فقد أصبحت فى حيز الإمكان بطرق كيمائية وفيزيائية بسيطة للإفادة منها أثناء الليل أو بعد أيام وأسابيع من اختزانها. كما تستخدم الخلايا الشمسية (الفوتوفولتية) فى تحويل أشعة الشمس إلى كهرباء بطريقة مباشرة.

### أ - التدفئة المنزلية :

تنخفض درجة الحرارة فى الليل وفى الساعات الأولى من النهار، خلال فصل الشتاء، إلى حد يحتاج إلى تدفئة. وباستخدام هذه الحرارة الطبيعيةخلال النهار، يتم الاستغناء على استهلاك كميات من الوقود أو الكهرباء يمكن الإفادة منها فى نواح أخرى.

ونماذج التدفئة بالطاقة الشمسية متنوعة فمنها التدفئة المباشرة بأشعة الشمس (Passive Heating) وفيها تصنع معظم واجهات المنزل من الزجاج الشفاف وتقابل

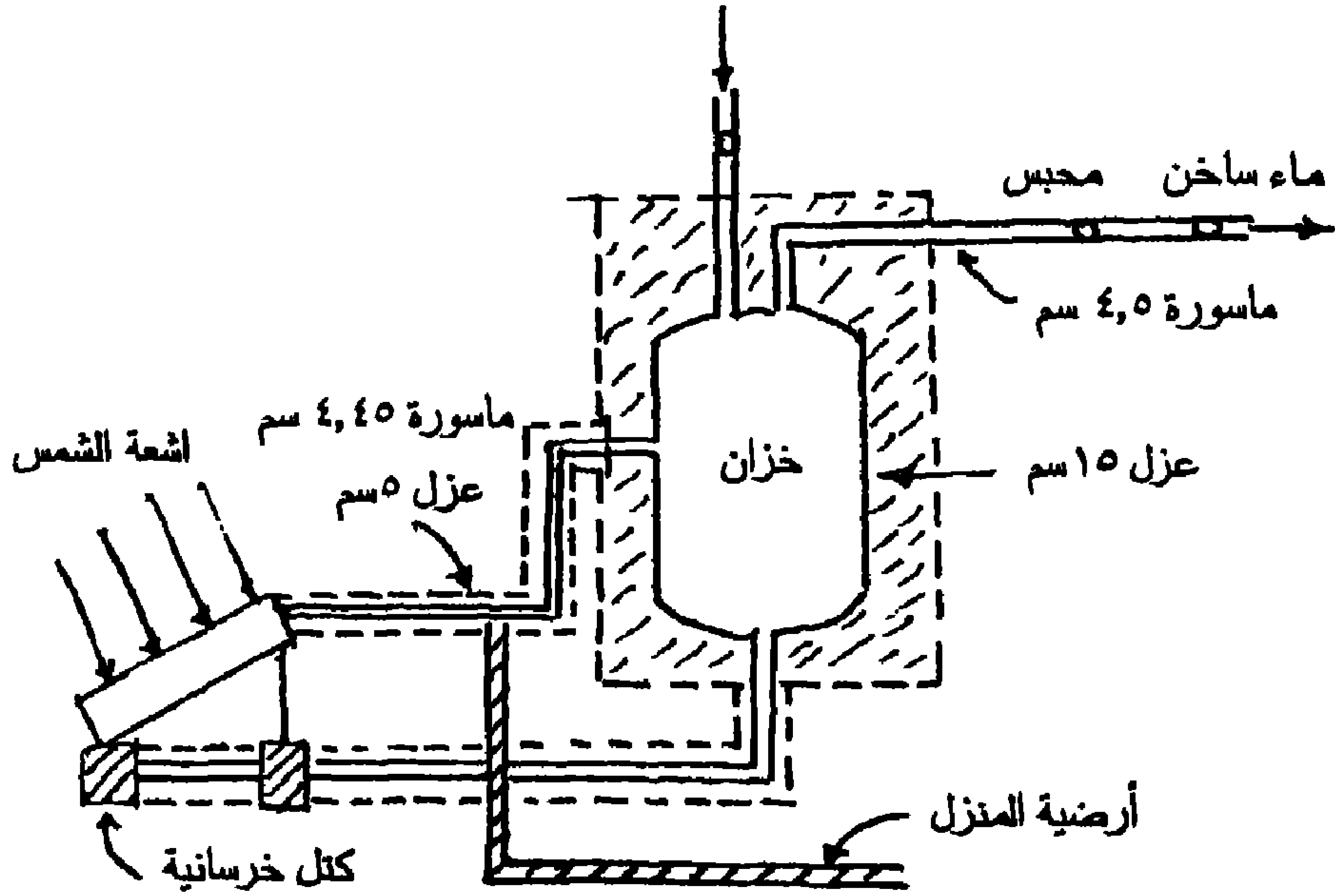
هذه المواجهة الناحية الجنوبية فتتلقى كل أشعة الشمس الساقطة عليها من وقت شروق الشمس إلى غروبها. وينفذ الزجاج أشعة الشمس إلى داخل البيت ولكن لا يسمح لها بالخروج فيصير عازلا لكمية الحرارة المكتسبة. وعندما يحل الليل ويبرد الجو المحيط الخارجى تستخدم الحرارة المختزنة فى تدفئة المنزل دون الاحتياج إلى مصادر أخرى للطاقة ويبين الشكل (١٠/١) : تصميما لمنزل والذى يطلق عليه اسم المنزل الشمسى.




**شكل (١٠/١) : تصميم لمنزل شمسى**

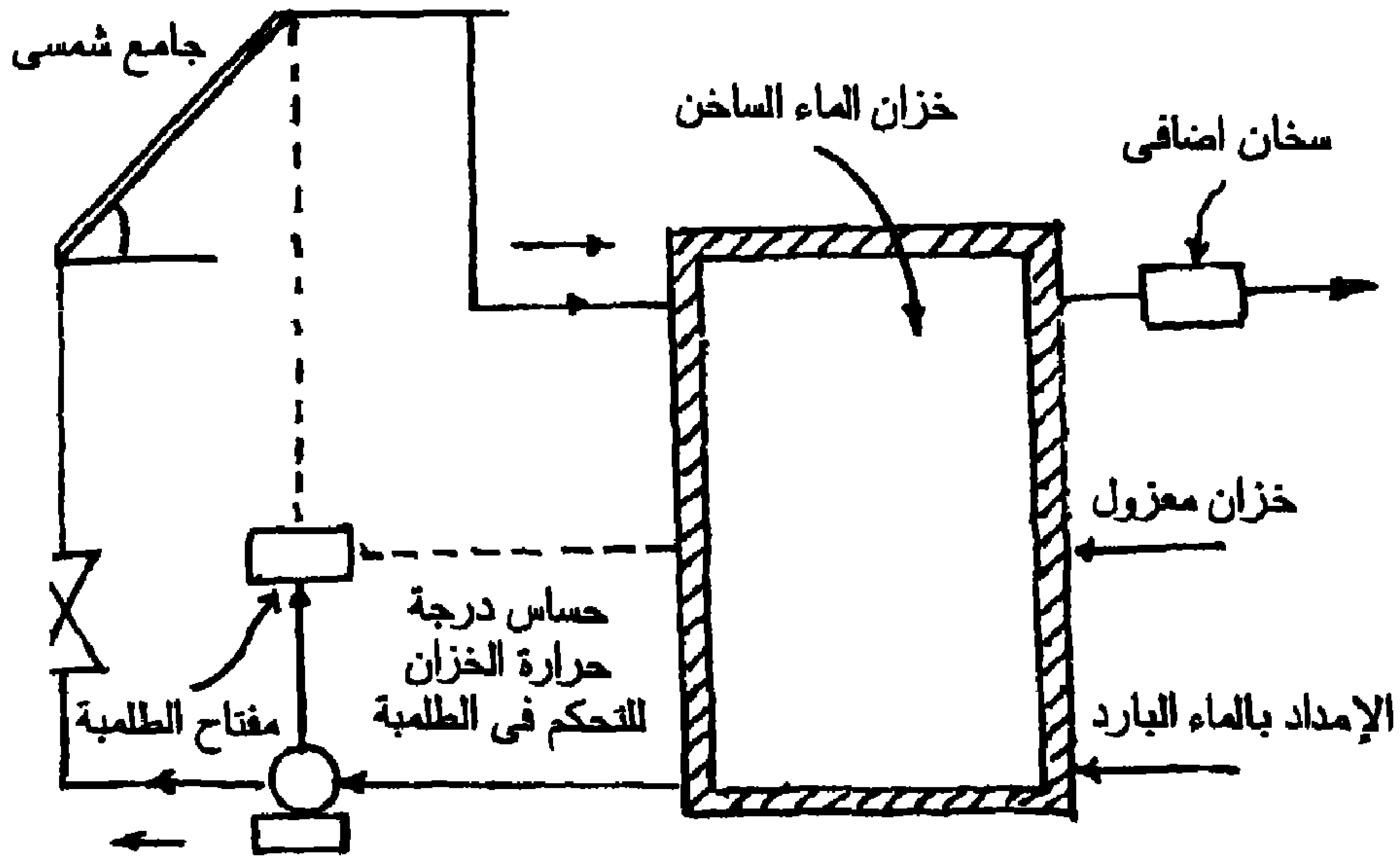
## ب - سخان الماء الشمسى

فى شكل حديث، سخان الماء الشمسى هو أساسا جامع ذو لوح مستوى (Flat Plate Collector) وحوض تخزين معزول. عادة الجامع يكون لوحا معدنيا أسود ملتصقا به مواسير معدنية ويزود عادة بغطاء زجاجى وطبقة عزل أسفل اللوح. مواسير لوح التجميع (Collector Tubing) متصلة بوصلة مواسير إلى حوض تخزين الماء الساخن للاستخدام فى الفترات غير المشمسة. عند الوضع على السقف أو على حامل مناسب فإن الجامع يمتص شعاع الشمس : بانتقال الحرارة الممتصة إلى دوران الماء خلال المواسير، فإنه يتم إمداد الماء الساخن إلى حوض التخزين. فى التصميمات العادية، يوضع حوض التخزين فوق قمة الجامع. الوضع المرتفع للحوض ينتج عنه التوصيل بالحمل الطبيعى (Natural Convection) : الماء يدور من الجامع إلى الحوض ولا يلزم وجود مضخة. نموذج لهذا التنظيم موضح فى الشكل : (١٠/٢ - أ).




شكل (٢/١٠ - أ) : نموذج لسخان الماء الشمسى

الشكل (٢/١٠ - ب): يوضح كيف أن هذا التخطيط يمكن تطويره فى حالة عدم توفر التدوير بالحمل الحرارى الطبيعى (Thormosiphon) .

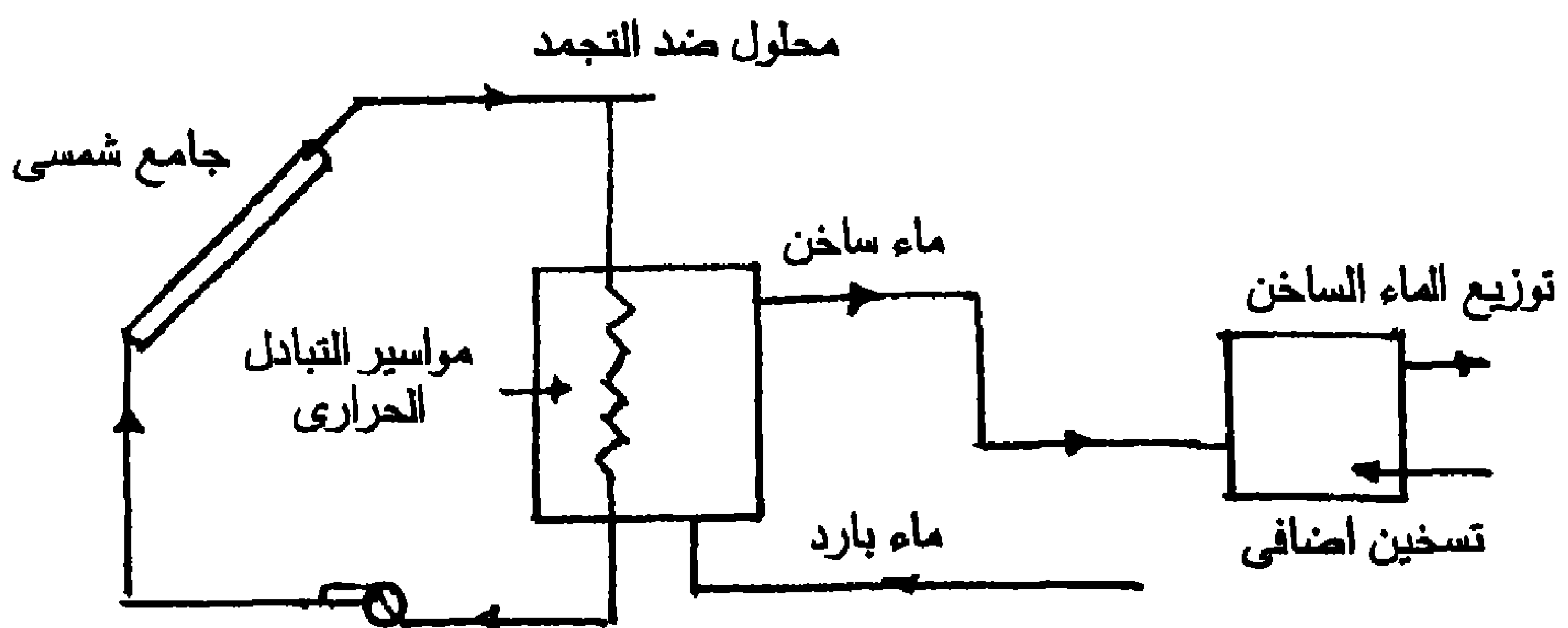



شكل (٢/١٠ - ب) : مخطط لسخان ماء شمسى
يعمل بالتدوير بالضخ

عنـد استخـدام طلمبـة كـهربيـة فى دائرة العـودة بين قـاع حـوض التـخـزين وحـاصـدة التجـمـيع السفـلى للـوح التجـمـيع (Low Header Ofthe - Collector) ، فإن الحـوض يمـكن وضـعـه عند مـستـوى مناسب (كـمـا فى حـالة الأدوار السـفلى) . عندئذ يصبح هذا النظام نشطا. وحدة تحكم تمكن الطلمبة من العمل فقط عندما تكون درجـة حـرارة الماء عند قاع الحـوض أقل من تلك للمـاء فى حـاصـدة التـجـمـيع العلوية (Upper Header) .

يلزم مـحبس عدم رجوع لمنـع التدوير العكسى والفقد الحرارى الناتج فى فتـرة الليل من لوح التجميع. فى هذا المثال، يتم تـوفير سـخـان إضافى للماء الذى يتـرك الحوض متوجها إلى الحمل.

عندمـا تكون هناك خطورة من التـجـمـد، فـإن الماء يمكن صـرفـه من المجـمـع (Collector)، بالتـبـادل، تدفق عكسى بطىء من الماء الأكـثـر سـخـونة يمكن إدخـاله خلال المجمع فى الليالى الباردة. خطورة التجـميد يمكن التغلب عليها، رغم أنه مع زيادة بسيطة فى التكاليف، باستـخدام مـحلول مضـاد للتجمد كمجال لنقل الحـرارة. عندئذ تنقل الحـرارة إلى الماء فى حـوض التـخـزين عن طريق لفات مـبادل حـرارى شكل (١٠/٢ - جـ) .




**شكل (١٠/٢ - جـ) : نظام التسخين الشمسى**

**للماء مع مضاد التجمد**

مساحة المجمع الشمسى (Solar Collector) من ٣٠ - ٤٠ قدما مربعا مع حوض معزول سعة ٥٠ - ١٠٠ جالون (٢٠٠ - ٤٠٠ لتر) يمكن أن يوفر من ٥٠ - ٨٠ جالونا (٢٠٠ - ٣٠٠ لتر) من الماء الساخن عند حوالى ١٤٠ درجة فهرنهيت (٦٠°م) فى اليوم حيث المناخ الجيد وعند متوسط سطوع الشمس.

**المميزات :**

فى حالة تسخين المياه، فإن الماء يستخدم كمجال للانتقال والتخزين الحرارى. هذا يجنب الانخفاض فى درجة الحرارة أثناء انتقال الطاقة إلى التخزين أو من التخزين. تتطلب أحجام تخزين أصغر نسبيا.

يمكن تبنيه بسهولة لإمداد الطاقة إلى أجهزة التكييف بامتصاص الهواء، مع متطلبات طاقة منخفضة لضخ سائل الانتقال الحرارى.

**العيوب :**

نظام التسخين الشمسى للماء من المحتمل أن يعمل عند درجة حرارة أقل من نظم المياه التقليدية، وبذا يحتاج إلى مساحة انتقال حرارى إضافية أو وسائل مكافئة لنقل الحرارة إلى المبنى.

**التدفئة الشمسية للمبانى (Solar Space Heating Of Buildings)**

تكنولوجى التدفئة الشمسية للفضاء الداخلى فى المبانى حيث يكون الماء هو الوسط المستخدم، هى أساسا امتداد للتكنولوجيا المستخدمة فى التسخين الشمسى للماء باستثناء أن الطاقة يلزم استعادتها من الحوض خلال سطح مبادل حرارى. تم عمل عدد كبير من الإنشاءات التجريبية الناجحة والتى استخدمت لسنين عديدة، وحدات المجمعات والتخزين أكبر من تلك المستخدمة فى سخانات الماء الشمسية تكون ضرورية لتوفير جزء كبير من متطلبات التسخين لمسكن نموذجى فى مناخ مشمس.

بالإضافة إلى نظام التسخين الشمسى، فإن نظم الطاقة التقليدية تكون أساسية لتحقيق درجة عالية من الاعتماد عليها. فى الأجواء حيث تكون درجات الحرارة منخفضة، فإن المصدر التقليدى يجب أن تكون له إمكانية الحاجة إلى الطاقة المتبقية؛ لذلك فإنه يلزم عمل دراسة جدوى اقتصادية نحو الاقتصاد فى الوقود مقابل التكاليف الرأسمالية.

النظم المستخدمة للهواء كمجال الانتقال الحرارى بين المجمع ووعاء التخزين المحتوى على صخور صغيرة، ثم استخدامه بنجاح. يتم تخزين الحرارة الشمسية كحرارة مدركة ومحسوسة فى الصخور واستعادتها عند الحاجة بتمرير الهواء فوق الصخور ثم إلى الحجرات.

تم بناء العديد من المنازل الشمسية التجريبية باستخدام نظام التدفئة التى يشتمل على المجمع (Collector)، ووحدة تخزين الحرارة، وسخان إضافى، نظم مناسبة لتوزيع الحرارة والتحكم. كثيرا من هذه تم استخدامه هندسيا مع قياس الكفاءة. وجد تنوع ملحوظ فى المفهوم والتصميم.

## جـ- اقتصاديات التسخين الشمسى :

إن استخدام الطاقة الشمسية فى التدفئة المنزلية والتجارية وفى تسخين المياه المنزلى يمكن أن يساهم بدرجة كبيرة كمصدر من مصادر الطاقة. ولكن هذا التأثير لا يتم بين يوم وليلة. حتى فى حالة إنشاء وحدات الألواح الشمسية فى ٩٠٪ من المساكن الجديدة ودور واحد من المبانى التجارية لتوفير ٨٠٪ من متطلبات التدفئة والتبريد للمبانى، فإننا سوف نقلل المساهمات من المصادر التقليدية بحوالى ٥٪ بحلول عام ٢٠٢٠ . باستخدام تقديرات أكثر حذرا أن الأجهزة الشمسية ستوضع فى ٥٠٪ لكل المبانى الجديدة، فإن الوفر فى عام ٢٠١٠ سيكون ٢,٠٪ . هذا ليس شيئا مزعجا؛ ذلك لأن هذا يكافئ الإنتاج السنوى للطاقة ما قيمته ١٠٠٠ ميجاوات من الكهرباء.

نظم الطاقة الشمسية عادة تحتاج إلى استثمارات أولية ضخمة، مقارنة بالنظم التقليدية. الجدول (٣/ ١٠) يوضح نتائج الدراسة التى قام بها معهد بحوث الطاقة الشمسية (الأمريكية) للتكاليف اللازمة لإنشاء نظام شمسى على المستوى المنزلى للتدفئة وتسخين المياه. الأسعار الموضحة هى لكل قدم مربع من مساحة المجمع (Collector). إجمالى تكلفة النظام هو ٥٥ دولارا لكل قدم مربع. من بين هذه التكلفة ٥٦٪ للمعدات، ١٧٪ للعمالة، ٢٧٪ نفقات عامة وأرباح. وهذا يعنى أن تكلفة القدم المربع هى ما بين ١٠ إلى ٢٥ دولارا، السعر المنخفض هو فى حالة التنفيذ الذاتى. لإقرار ما إذا كان مثل هذا الاستثمار مقبولا اقتصاديا فإنه يجب إقرار الفترة الزمنية المقبولة للعائد. يتم حساب الفترة الزمنية لاستعادة التكاليف بأنها الوقت الذى فيه تساوى التكلفة الأولى زائد التكلفة السنوية للتشغيل إجمالى الوفرة فى الطاقة. ارتفاع

أسعار الوقود تقلل من الفترة الزمنية لاستعادة التكاليف. بالنسبة لمالكى الوحدات السكنية يكون الحد الأقصى المقبول للفترة الزمنية لاستعادة التكلفة هو عشر سنوات. وفى مجال الصناعة يكون ٢ – ٣ سنة الفترة الزمنية لعودة التكلفة عند تقدير الاستثمارات. فى مناطق كثيرة للولايات التحدة أصبح استخدام التدفئة الشمسية أفضل من الناحية الاقتصادية عن الكهرباء إذا أخذت الفترة الزمنية لعائد التكلفة ١٠ سنوات، بينما فى مناطق كثيرة كانت الطاقة الشمسية المستخدمة فى تسخين المياه للاستخدامات المنزلية أقل تكلفة مقارنة بالكهرباء وزيت البترول.

المناطق حيث الأن نظم التدفئة الشمسية المباشرة ذات جدوى اقتصادية تتوقف ليس فقط على العزل، ولكن كذلك على برودة الشتاء (عدد درجات – الأيام) أسعار الوقود السائدة، التكاليف المحلية للإنشاء. فى كثير من المناطق المتطلبات العالية للتدفئة يصاحبها ضعف الوفر من الطاقة الشمسية.

عند تصميم نظام شمسى جيد ، تكون المساحة المناسبة للمجمع ذات أهمية. فقد تصل تكلفة زيادة طاقة الفرن الذى يعمل بالبترول إلى الضعف إلى حوالى ٢٠٠ دولار، ولكن لمضاعفة عدد المجتمعات الشمسية يلزم ٢٠٠٠ دولار.

**جدول (٣/ ١٠) : تكلفة مكونات نظام التسخين الشمسى**

| المكون | المجمع المعدنى (Collector) | |
|---|---|---|
| | دولار / القدم المربع | النسبة المئوية للتكلفة الكلية |
| إجمالى النظام | ٥٥,٦ | ١٠٠ |
| مصفوفة المجمع | ٢٢,٣ | ٤٠,١ |
| الإنشاء | ٢,٦ | ٤,٧ |
| التخزين | ٨,٣ | ١٤,٩ |
| المواسير | ٩,٣ | ١٦,٧ |
| نقل الطاقة | ٥,٦ | ١٠,١ |
| العزل | ٥,٢ | ٩,٤ |
| التحكم الإلكترونى | ٢,٣ | ٤,١ |

**د - تكييف الهواء الشمسى : (Solar Air Conditioning)**

يشمل مكيف الهواء التقليدى ضغط البخار، تبريده وتكثيفه إلى السائل، ثم التبخر بالتمدد نحو منطقة ذات ضغط منخفض. يتم سحب الحرارة من الهواء المطلوب تبريده، واستخدامها فى تبخير السائل، يتم تكرار الدورة بعودة البخار إلى الضغط الذى عنده يمكن تكثيفه وطرد حرارة التبخر إما إلى الهواء الخارجى أو إلى مجرى مياه.

تكييف الهواء الشمسى يمكن عمله بنفس الطريقة بتحويل الطاقة الشمسية إلى الشكل الميكانيكى المطلوب لتشغيل الضاغط. الحاجة إلى طاقة ميكانيكية والتكلفة العالية نسبيا لتحويلها من الطاقة الشمسية يمكن تجنبها باستخدام دورة تبريد بالامتصاص (Absorbtion Refrigiration Cycle). فى هذه العملية، يتم رفع ضغط بخار التبريد بالتسخين بدلا من الضغط الميكانيكى. المبرد الذى تم تبخيره (Vaporized Refrigerant) يتم استعادته للتدوير بالامتصاص فى محلول المبرد والملح. الضغط المنخفض لمنطقة التمدد/ التبخر يتم المحافظة عليها بالضغط المنخفض للبخار للمبرد أعلا من المحلول (الماص- Absorbent)، يتم اعادة توليد البخار بالسماح لمحلول المبرد والماص بالتدفق نحو المولد (Generator) حيث يستخدم التسخين الشمسى.

هذه العملية نالت الاهتمام نحو التطبيق فى المناطق حيث المناخ المعتدل، طرق أخرى، مثل تجفيف الهواء بالمجففات المجددة بالتسخين الشمسى أمكن تنفيذها كذلك. لقد ظهر أن الجدوى الفنية التكنولوجية والاقتصادية صارت واعدة. بالنسبة لتدفئة المبانى، توضع فرص نحو استخدام تصميم المبنى لزيادة الراحة وخفض متطلبات الطاقة.

ولكن ما زال التبريد الشمسى لم يتم تطويره إلى الحد مثل التسخين الشمسى. تم فقط عمل تجربتين أو ثلاث على مستوى تنفيذى (فى جامعة ولاية كلورادو) ورغم أن هذه التجارب حققت نجاحات، إلا أن النتائج أظهرت الارتفاع النسبى للتكاليف مقارنة بالتبريد التقليدى بالضغط.

معظم جهود التطوير صاحبها توفير التسخين الشمسى للسائل إلى دورة امتصاص التبريد التى تستخدم نظام (Lithium Bromide/Water) كخليط ماص- مبرد (Absorbent Refrigerant Mixture). درجات حرارة التشغيل تتوافق مع

المجمعات الشمسية ذات اللوح المستوى الجيدة؛ لذا فالمكيفات الهوائية التجارية (Commerical Air Conditioner) يمكن أن تتكيف مع الإمداد بالطاقة الشمسية باستبدال السائل الذى تم تسخينه شمسيا بالمصدر الحرارى التقليدى.

من المهم تحديدا ملاحظة أنه فى تكييف الهواء الشمسى يستخدم نفس المجمع ونظام التخزين للتبريد كما يتم للتدفئة الشتوية؛ لذلك فإن النظام مع التدفئة الشمسية، بافتراض أن الظروف المناخية التى تتطلب كلا من التسخين والتبريد أثناء الفترات المختلفة من العام، يمكن من عامل تحميل عال على المعدة الشمسية المكلفة. هذا يجعل الصورة الاقتصادية تشبه إلى حد كبير سخان الماء الشمسى.

ولكن ما زالت تكلفة امتصاص التبريد (Absorbtion Cooling) أعلا كثيرا عن تكلفة ضغط التبريد (Compression Cooling) .

### هـ- التبريد الشمسى : Solar Refrigeration

يعد التبريد الشمسى ذا علاقة قريبة من تكييف الهواء، ويقصد به عموما حفظ الطعام أو لحفظ المواد الحيوية أو الطبية. وجدت تجارب فى كثير من دول العالم منها الولايات المتحدة، سيرى لانكا، فرنسا، الاتحاد السوفيتى السابق على المبردات الشمسية باستخدام دورات الامتصاص – التبريد. معظم هذه يقصد به التبريد المنزلى للطعام أو ماكينات تصنيع الثلج الصغيرة.

### و – إزالة الملوحة بالطاقة الشمسية (Solar Desalination)

استخدام الطاقة الشمسية فى إزالة ملوحة مياه البحر والمياه الخمضاء (Brackish) من بعض مياه الآبار، تم تجربتها فى عدة تجارب نصف صناعية فى الولايات المتحدة الأمريكية، اليونان، أستراليا، الاتحاد السوفيتى السابق، وفى دول أخرى عديدة. العملية القديمة، المقطر الحوضى تم تطويره مع المواد الحديثة. يتكون من حوض ضحل من الماء عالى الملوحة (Brine) الذى يحدث منه بخر للماء ببطء فى شكله الحديث ثم تغطيته بألواح مائلة من الزجاج، حيث يتكثف الماء على الجانب السفلى للغطاء الزجاجى البارد ويسيل نحو الحوض عند الأطراف السفلى ثم إلى التخزين. الفكرة كان أول استخدام لها فى ١٨٩٢ فى شيلى / فى مصنع لاستخراج النترات وذلك لتوفير مياه الشرب للحيوانات العاملة فى ذلك المصنع حيث استمر العمل

فى هذا المصنع لمدة ٣٠ عاما. التطوير الحديث فى التقطير الشمسى توجه نحو استخدام مواد وتصميمات إنشائية اقتصادية ولها قدرة تحمل، وذلك لخفض تكاليف الإنتاج.

## ز - إنتاج الملح والأحواض الشمسية

**Salt Production And Solar Ponds**

التبخير الشمسى لمياه البحر المالحة كان طريقة تقليدية للحصول على الملح. ولا تزال طريقة هامة فى إنتاج الملح حتى اليوم على المستوى الصغير والكبير فى كثير من البلاد. الأحواض الشمسية، هى أحواض ذات مساحة كبيرة بعمق حوالى واحد متر. المفهوم الأساسى هو ببساطة حيث فى المساحات التى يزيد فيها البخر عن سقوط الأمطار، يتم تعرض حوض ضحل به ماء مالح، حيث تتبخر المياه، مع ترك الملح.

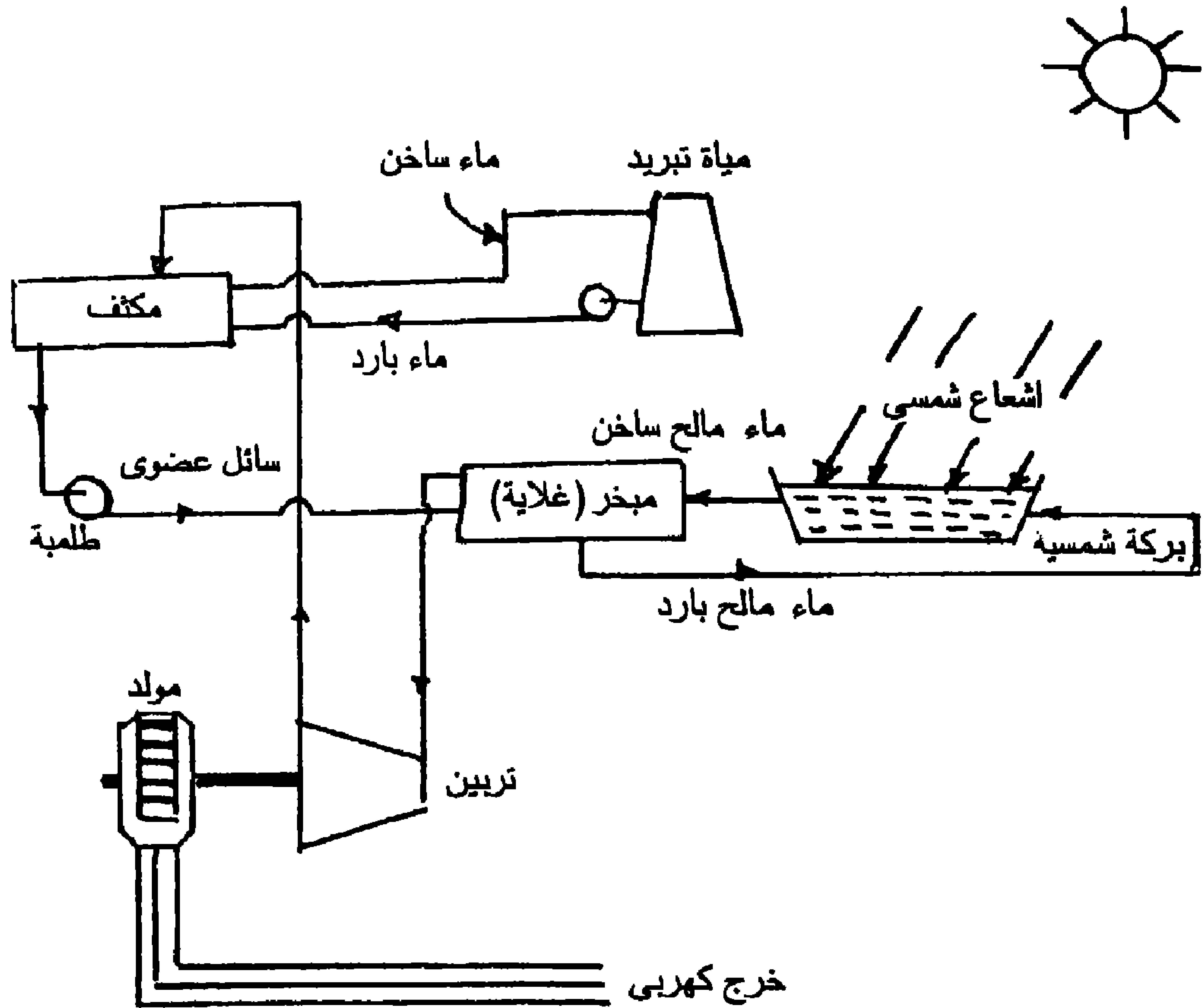
فى الأحواض الشمسية فيها تدرج رأسى لتركيزات الملح بحيث يكون المحلول الأكثر تركيزا والأكثر كثافة عند قاع الحوض. يتم توليد الحرارةعند القاع للحوض بسبب امتصاص الإشعاع الشمسى - ونقله بالماء بواسطة القاع الأسود للحوض. بالرغم من ارتفاع درجة الحرارة للمحلول الملحى عند القاع، فإن كثافته النوعية تظل أعلا من تلك عند السطح فى حالة استمرار تدرج كبير فى التركيز. فى هذه الظروف، الحمل الحرارى بالخلط (Convection Mixing) يكون أدناه وتصل درجة حرارة طبقة القاع للمحلول الملحى إلى ٨٠ - ٩٠°م بينما تظل درجة حرارة السطح عند ٢٥°م، والتى يمكن سحبها من الحوض واستخدامها لتوليد الطاقة، إنتاج الملح بواسطة البخر متعدد التأثير لتقطير المياه المالحة وهكذا. لاستمرار التدرج فى التركيز مقابل التسرب البطيء العلوى للملح، فإن السطح يجب غسيله بماء عذب بهدوء والإمداد بالماء المالح المركز عند القاع.

## ح - استخلاص الطاقة الحرارية (Extraction Of Thermal Energy)

تخزن الطاقة فى شكل حرارى ذى مستوى منخفض فى منطقة الحمل الحرارى السفلى - الحمل الحرارى فى المنطقة يعود إلى عملية الاستخلاص الحرارى، التى تتم بسحب الماء الملحى الساخن (Hot Brine) وعودة الماء الملحى البارد. إنه ليس عمليا تغطية قاع الحوض بمصفوفة من المواسير التى تعمل كمبادلات حرارية وذلك لسببين

(١) ستزداد التكلفة كثيرا وخاصة فى حالة الأحواض الكبيرة بمساحة حوالى كيلومتر مربع.

(٢) فى حالة عدم وجود حمل حرارى حول المواسير، فإن الانتقال الحرارى من الماء الساكن إلى السائل فى المواسير سيكون ضعيفا جدا. الشكل (٣/١٠) يوضح مخططا لحوض شمسى لمحطة طاقة كهربية .




**شكل (٣/١٠) : محطة كهرباء باستخدام البركة الشمسية مع برج التبريد**

استخلاص الطاقة الحرارية المخزنة فى الطبقات السفلى للحوض يمكن تنفيذها بسهولة بدون اضطراب تدرج منطقة عدم الحمل الحرارى العليا. يمكن استخلاص الماء الساخن من الحوض الشمسى بدون اضطراب لتدرج التركيز. يتم ذلك بإقامة مخرج الماء عند نفس الارتفاع مثل مدخل المياه. يمكن سحب الماء الملحى الساخن وعودة الماء الملحى البارد فى إطار تدفق رقائقى (Laminar) بسبب وجود تدرج فى الكثافة. فى حالة الأحواض الصغيرة يمكن وضع المبادلات الحرارية المكونة من مواسير فى طبقات الماء الساخن، ولكن هذا يستتبعه ليس فقط التكاليف الأولية للإنشاء

ولكن الفقد المستمر فى الضخ المصاحب لسائل الانتقال الحرارى. الطاقة الحرارية من الحوض الشمسى تستخدم لتشغيل الماكينة الحرارية لمقياس درجات الحرارة (Ran Kine - Cycle Heat Engine) . الماء الساخن من مستوى قاع الحوض يتم ضخه إلى المبخر حيث السائل العضوى العامل يتم تبخيره. يتدفق البخار عند ضغط مرتفع نحو التربين، حيث يتمدد خلال عجلة التربين والمولد الكهربى المتصل بها. يتحرك عندئذ البخار نحو المكثف حيث الماء البارد من برج التبريد يكثف البخار إلى سائل. يتم ضخ السائل ثانيا إلى المبخر حيث يتم تكرار الدورة.

حوض شمسى بمساحة ٢٠٠٠ متر مربع مجهز بمحرك ٢٠ كيلوات تم إنشاؤه فى أستراليا.

يجب التأكيد على أن «الحوض الشمسى» متعدد الأغراض يتطلب تكلفة رأسمالية عالية وأن تطوير العملية وتطبيقاتها من المحتمل أن تكون أقل جاذبية فى الدول النامية عنه فى الدول الصناعية .

**ط – تجفيف المحاصيل : (Grop Drying)**

تجفيف المحاصيل من أقدم الاستخدامات للطاقة الشمسية وأوسعها انتشارا. تتضمن التقنية نشر المادة المطلوب تجفيفها فى طبقة بسمك صغير على الأرض لتعريضها للشمس والريح. ما زالت الفواكه والخضروات يتم تجفيفها بهذه الطريقة فى أجزاء كثيرة من العالم، بما فيها الدول الصناعية. فى الأعوام القريبة الماضية تم استخدام تقنيات مطورة وخاصة فى تجفيف الفاكهة حيث يتم وضع الفاكهة فى رفوف مصممة جيدا لتوفير التعرض المحكم لإشعاع الشمس، الرياح، ولتحسين تداول المياه، حيث نتج تحسن فى نوعية المنتج وفى التحكم فى العملية.

لا شك فى أن التجفيف الشمسى هو أبسط طريقة وأقلها تكلفة لتجفيف المحاصيل فى المناطق ذات الإشعاع الشمسى الوفير وحيث تتصف مواسم الحصاد بالرطوبة المنخفضة نسبيا وقلة سقوط الأمطار.

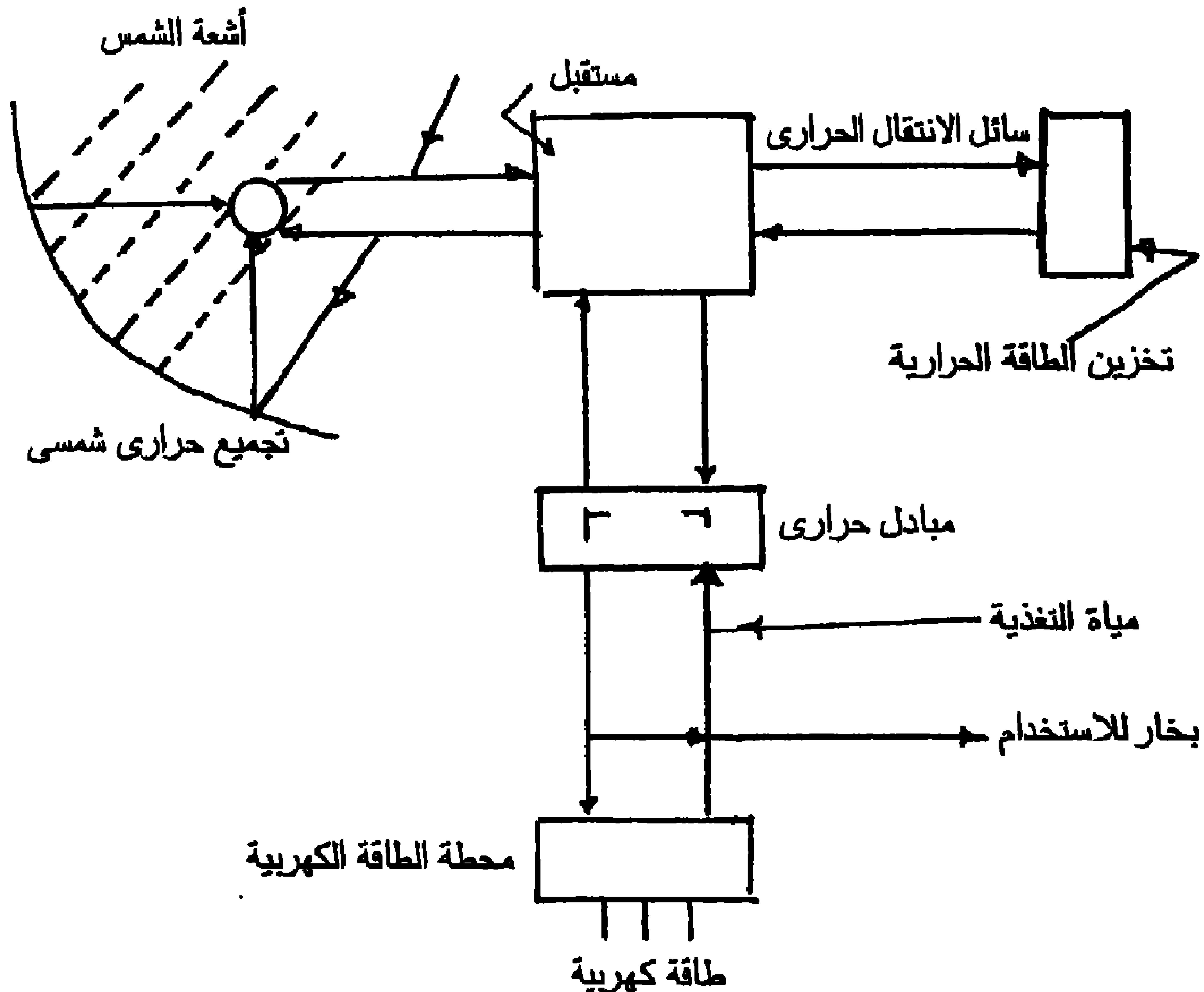
لاستمرار الاستقرار فى التخزين، فإن الحاصلات الزراعية يجب تجفيفها إلى نسبة رطوبة من ١٢ – ١٥ ٪ بالوزن. الرطوبة النسبية للهواء التى سوف تكون فى حالة اتزان مع المحاصيل لهذا المستوى من الرطوبة، تختلف من محصول إلى آخر وتتراوح تقريبا من ٤٨ إلى ٦٠ ٪ لبذور الفاكهة والكلأ. يمكن الخفض الملحوظ فى

الرطوبة النسبية بأدنى زيادة فى حرارة الهواء، لذلك فإن التجفيف المناسب للحاصلات يمكن تنفيذه فى المناخ الجاف برفع درجة الحرارة للهواء الذى يدور خلال الحاصلات المطلوب تجفيفها.

## ٦ - تكنولوجيا تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربية :

فى النظم التى تم تناولها تكون الطاقة الشمسية مستخدمة مباشرة كمصدر للحرارة (كما فى حالة إنتاج الملح أو تجفيف المحاصيل) أو أن تستخدم لتسخين الماء، والطاقة التى يكتسبها الماء تستخدم لتشغيل ماكينات معينة (كما فى حالة التدفئة الشمسية للمساحة الفراغية أو تكييف الهواء).

ولكن النظم التى نالت أقصى اهتمام واستثمار فى مجال البحث والتطوير فى السنين القريبة هى تلك التى يتم فيها تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربية. مخطط لمسقط أفقى لمحطة طاقة حرارية شمسية موضح فى الشكل (٤/١٠).




شكل (٤/١٠) : مخطط لمحطة طاقة كهربية تعمل بالطاقة الشمسية

الآمال معقوده على أنه فى حالة إمكان تطوير نظم إنتاج الطاقة الكهربية بالطاقة الشمسية المباشرة وذلك للحصول على الكهرباء بتكلفة تقارب مصادر الطاقة التقليدية، فإن كل شىء يسير بالكهرباء يمكن عندئذ تشغيله بدون الحاجة إلى بناء ماكينات خاصة تعمل بالطاقة الشمسية لاستخدامات منفردة.

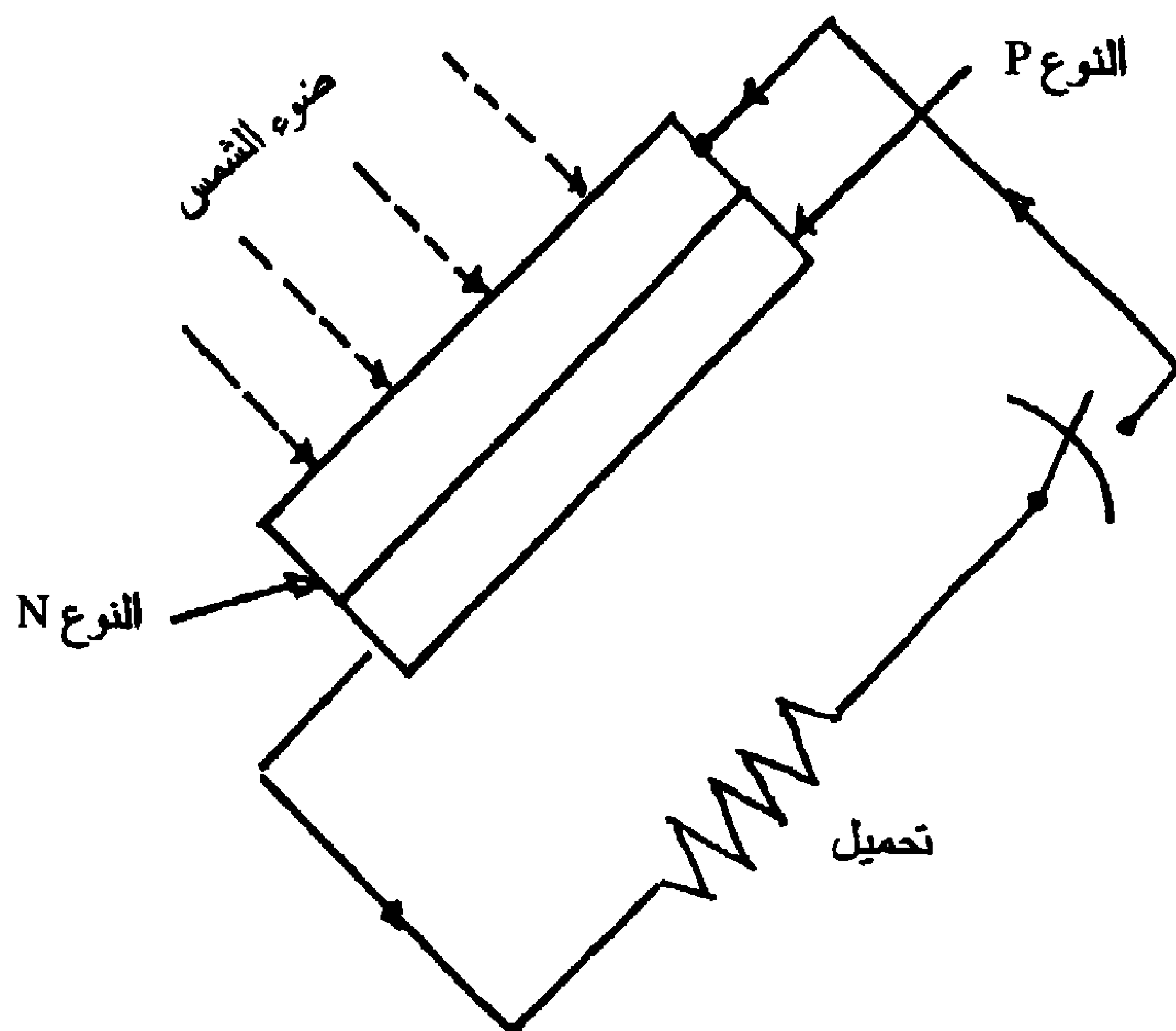
## المحركات الحرارية (Heat Engines)

الجهود الأولى التى بدأت مع القرن العشرين لتوليد الكهرباء من الطاقة الشمسية دارت حول المحركات الحرارية. هذه النظم تكونت من أسطح عاكسة التى استقبلت وركزت الطاقة الشمسية للغلايات . هذا مكّن من توليد بخار عالى الضغط لتوليد الطاقة الكهربية أو مع معدّة محددة، درجة حرارة عالية للصناعات الكيميائية والميتاليرجية. تم إنشاء محطات طاقة تجريبية حيث كان فيها مجموعة ضخمة من المجمعات الشمسية (Solar Collectors) تم تشغيلها لإنتاج بخار الماء أو بخار آخر الذى استخدم فى المحركات من أنواع مختلفة لتوليد الكهرباء أو الطاقة الميكانيكية. أكبر هذه المحطات كانت المحطة التى أقيمت فى مصر فى عام ١٩١٣ التى ولّدت حوالى ٣٧ كيلوات من الكهرباء.

كذلك استخدمت الطلمبات الشمسية كتجهيزات دليل بحثى منذ عدة عقود. الملاحظ من بين هذه هو وحدات الضخ الصغيرة صناعة فرنسية فى جنوب أفريقيا وإنشاءات مشابهة فى المكسيك. سخانات الماء ذات اللوح المستوى (Flat Plate Water Heaters) أمدت الماء الساخن للغلاية التى فيها يتم تبخير البروبين والبخار يتم توجيهه إلى محطة ترددى (Reciprocating Engine). حاليا توجد إنشاءات ذات طاقة ١ – ٣ كيلوات فى الخدمة. الكفاءة الكلية الحالية أقل من ١ ٪ يمكن زيادتها كثيرا بتحسين التصميم. رغم أن تكاليف الطاقة المنتجة بهذا النظام مرتفعة مقارنة بوحدات الديزل، إلا أنه لا تبدو هناك فروق كبيرة، ذلك لأن عمر محرك الديزل يفترض أنه يقل بسبب التقصير فى الصيانة وعناصر الصيانة فى أماكن بعيدة.

## الخلايا الفلطائية (الكهربية) الضوئية (Photovoltaics)

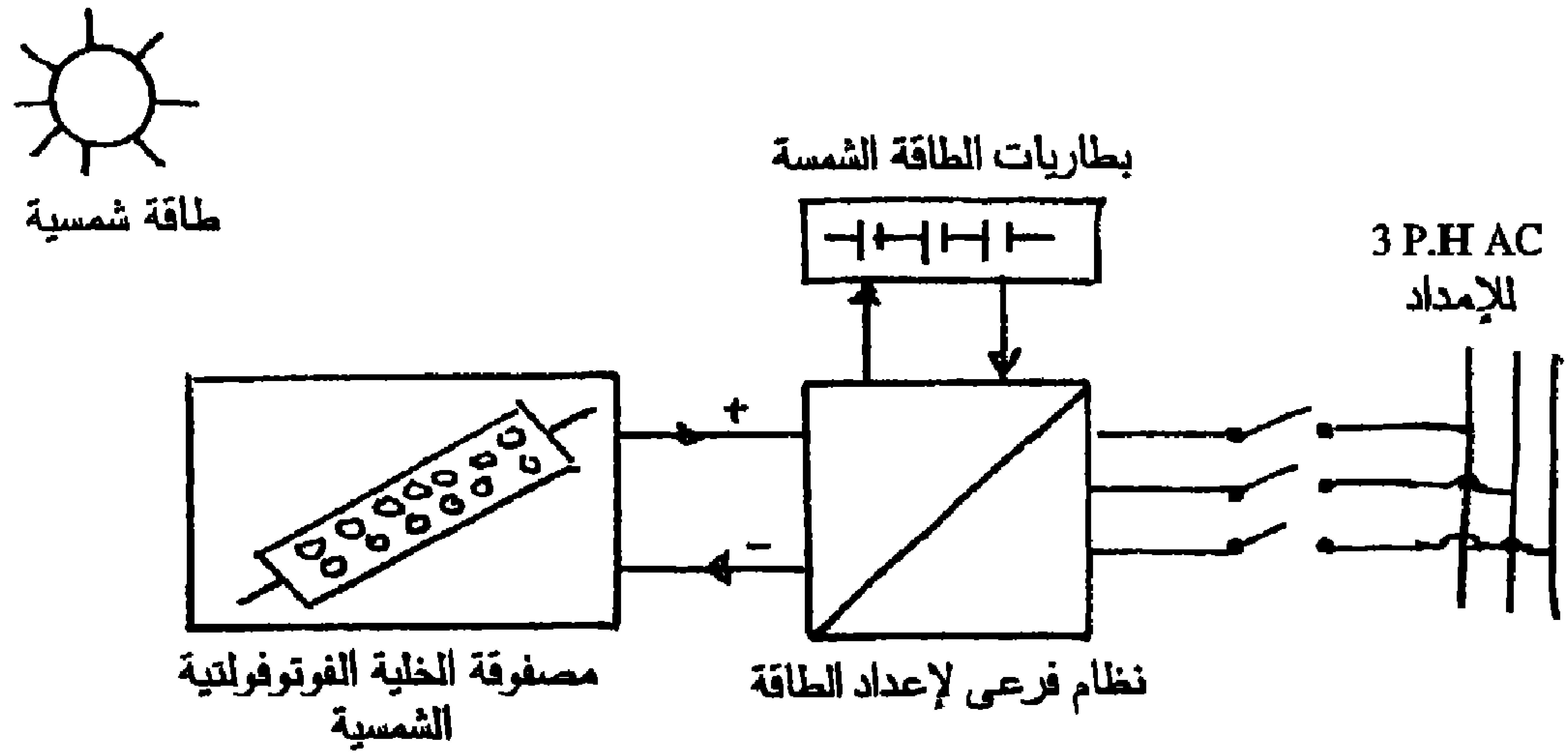
الخلايا الكهربية الضوئية أو الخلايا الشمسية (Solar Cells) هى التجهيزات التى تحول الإشعاع الشمسى الساقط مباشرة إلى تيار كهربى. فى عام ١٩٥٥ اخترعت للاستخدام لتوفير الطاقة الكهربية لمركبات الفضاء. مع الوقت ومع مدخلات من الاختراعات والبحوث والتطوير انخفضت تكاليف الخلايا الكهربية وزادت كفاءتها. وأصبحت متوفرة تجاريا فى الاستخدامات الصغيرة للطاقة مثل الساعات والحاسبات، ولكن توليد الطاقة المبنى على الخلايا الكهربية الفولطائية خارج المنافسة لمصادر الطاقة التقليدية. مخطط للخلية الفولطائية الضوئية موضح فى الشكل (١٠/٥) .




**شكل (١٠/٥) : لخلية فوتوفولتية (خلية شمسية)**

ولكن، منذ عام ١٩٩٥ تمت محاولات عديدة لتحويل نظم الطاقة الشمسية الفولطائية الضوئية لاستخدمات مختلفة تتراوح ما بين التجارب العلمية إلى الاستخدامات التطبيقية فى الصناعة. تم إقامة منشآت فى جنوب أفريقيا تراوحت ما بين القليل من الوات الكهربى إلى ما يزيد عن الكيلوات، وكذلك فى شمال أمريكا، والمكسيك، والولايات المتحدة، وكندا، وأوروبا، واليابان، وجنوب شرق آسيا، والشرق الأوسط.

وهذه وفرت الطاقة للإضاءة المنزلية، الملاحة البحرية، أضواء التحذير، الراديو، الميكروويف ومحطات مرحل التليفزيون، المساعدات الملاحية على أرصفة البترول البحرية، محطات الرصد الجوى، أجهزة التليفزيون التعليمية عن بعد، صناديق الإغاثة على الطرق السريعة، أضواء التحذير للطائرات على المطارات، محطات الاتصال عن بعد. مخطط لنظام الطاقة الفولطائية الضوئية الشمسية موضح فى الشكل (٦/ ١٠).




**شكل (٦/ ١٠) : مخطط لنظام (PV) الشمسى**

الخلايا الشمسية، عادة فى شكل طبقات رقيقة أو تردد (Wavers) هى تجهيزات شبه موصلة (Semi - Conductors) التى تحول ٣٪ إلى أقل من ٣٠٪ من الطاقة الشمسية الساقطة إلى تيار كهربى مستمر (DC)، بكفاءة تتوقف على كثافة طيف الإضاءة لتصميم الخلية الشمسية والمواد، ودرجة الحرارة. الخلية الشمسية تسلك مثل بطارية ذات فولت منخفض حيث شحنتها يتم تجديدها باستمرار بمعدل يتناسب مع الإضاءة الساقطة. توصيل مثل هذه الخلايا على التوالى – التوازى يمكن من تصميم مصفوفات شمسية Solar " Panels" ذات تيار عال وفروق جهد مرتفعة إلى عدة كيلوفولتات. بالجمع مع تخزين الطاقة ومعدة إعداد الطاقة فإن تلك الخلايا يمكن استخدامها كجزء مكمل لنظام تحويل كامل للنظام الشمسى الكهربى.

البساطة غير العادية لنظم الفولتية الضوئية الشمسية يبدو أنه نظام طاقة مطلوب للأغراض الأرضية، لكل من الدول الصناعية والنامية. نظام الفولطائية الضوئية الجذاب يتضمن عدم وجود أجزاء متحركة، التحلل البطىء جدا للخلايا الملحومة جيدا، احتمال نظم مصفوفات بأحجام تتراوح ما بين القليل من عدد الواتات إلى الميجاواتات، والبساطة الشديدة فى الاستخدام. ولكن التكاليف العالية جدا لتطوير وتصنيع المصفوفات والنظم الشمسية أعاق من التوسع فى الاستخدام الأرضى لهذه التقنية حاليا، وذلك رغم الخواص الجذابة لهذه النظم.

توجد شواهد جيدة نحو التطوير المناسب للتقنيات وكذلك تقنيات الإنتاج الكبير، حيث يمكن خفض تكاليف مثل هذه المنظومات إلى النقطة حيث يمكن أن يكون النظام الكامل للتحويل الشمسى، والتخزين، وإعداد الطاقة ونقلها وتوزيعها منافسا على أساس تكاليف الدورة الحياتية مع التطبيقات الكبيرة فى المناطق البعيدة. الشواهد الهامة الحديثة تشمل تطوير الإنتاج المستمر إلى شريط السيليكون (Ribbon Silicon) المناسب للخلايا الشمسية ، التحسن فى الكفاءة والثبات للخلايا الشمسية وتطوير المركزات ذات الفتحة المتسعة (Wide - Aperature) والتى تسمى (Winston Collectors).

**مبدأ العمل : (Principle Of Operation)**

عمل الخلية الشمسية مبنى على التأثير الفولطى الضوئى (Photovaltaic) – خلق الشحنة المحمولة خلال المادة بامتصاص الطاقة من إشعاع التأين الساقط. المواد التى يحدث خلالها ذلك بأعلى استفادة هى المواد الشبه موصلة ذات الخواص التى تقع ما بين تلك للموصلات وللعوازل. وهذه تتصف بحقيقة أن إلكتروناتها المكافئة (Valence Electrons) ليست حرة للتحرك وتوصيل التيار كما هو الحال فى المعادن، ولكنها محتجزة ومقيدة نحو أربطة زوج – الإلكترون (Electron Pait Pond) بين الذرات فى البللورة. ولكن فى شبه الموصلات فإن رباط مستويات الطاقة الذى يشغل طبيعيا بواسطة إلكترونات التكافؤ يكون قريبا لرباط مستويات الطاقة المتاحة لإلكترونات التوصيل بحيث إنه بامتصاص طاقة وحدة الكم الضوئى (Photon)، يمكن أن يقفز إلكترون للفاصل ما بين طوق التكافؤ (Valence Pand) وطوق التوصيل ويصبح حاملا للتيار الكهربى. الفراغ الناتج

(«ثقب») فى متبقى رباط زوج – إلكترون يمكن ملؤه بإلكترون من الرباط المجاور الذى له تأثير الشحنة الموجبة أو «الثقب» المتحرك فى اتجاه مخالف لاتجاه سير الإلكترون.

بهدف إمكان حدوث التوصيل الكهربى بخلق زوج من ثقب – إلكترون (Hole - Electron Pairs) بإشعاع التأين لتوفير الشغل المفيد، فإنه يجب توفير ثلاث حالات: الأولى، يجب أن تكون حاملات عدد أزواج الشحنة الناتج يزيد عن العدد الموجود طبيعيا عند درجة حرارة معطاة. الثانية، المادة يجب أن تحتوى عدم تجانس داخلى الذى يحافظ على عزل الشحنات المعاكسة منعزلة حتى يسمح لها بإعادة الجمع (الاتحاد) بالسريان خلال دائرة خارجية. الثالثة، متوسط مسافة التسرب (Diffu-sion) (العمر – Life Time) للثقوب والإلكترونات قبل إعادة اتحادهما يجب أن يكون أكبر من المسافة إلى نقطة الجمع (Collection Point)، أى عدم التجانس.

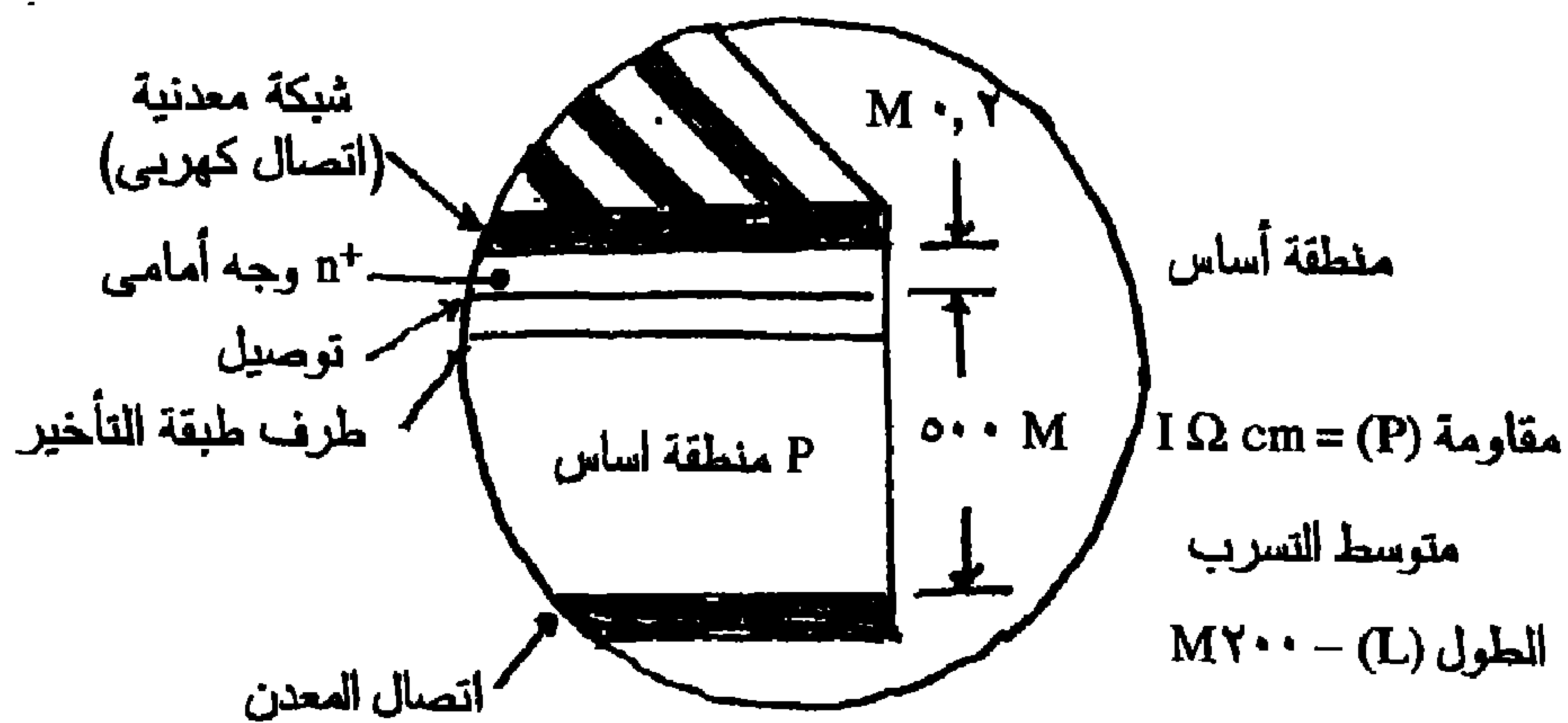
منطقة عدم التجانس (Inhomogenity) هى منطقة ضمن التجهيز الذى يفصل المواد التى تختلف مثل نوع حامل الشحنة الذى يسود فى التوصيل الكهربى : شبه الموصلات من نوع - n (n - Type) إذا كان الحامل السائد سالبا (إلكترونات)، النوع - P (P - Type) إذا كان الموجب «ثقوب» "Holes". خواص P أو n يمكن أن تعود إلى شبه الموصل بإدخال فى الهيكل البللورى (Crystal Lattice) – كميات صغيرة من ذرة ذات إلكترون أقل أو إلكترون أزيد عن كل نسيج ذرة تساهم فى رباط زوج – إلكترون مع جيرانها. فى حالة السيليكون، مثلا، فإن أربعة إلكترونات تكافؤ تساهم فى هذه الأربطة. فى حالة المعالجة (doped) بالذرات التى لها ثلاثة إلكترونات تكافؤ مثل البورون أو الجاليوم (Gallium)، عند أى موقع شبكية (Lattice Site) فإن عمل الإشابة "Dopant" يصبح القابل للإلكترون بهدف تكملة الأربطة إلى جيرانها، بذلك توفير ثقب كحامل شحنة وخلق منطقة النوع - P (P - Type) . على الجانب الآخر، الفوسفور، الزرنيخ، الأنتيمون كمثال مع إلكترونات التكافؤ خمسة، سوف تعمل كمعطيات إلكترون (Electron Donors) فى السيليكون وتكون منطقة النوع - n.

الثلاثة أنواع لتوصيل P - n التى تقابل أو تنافس فى تجهيزات شبه التوصيل هى حاجز المعدن شبه الموصل (Metal - Semiconductor)،

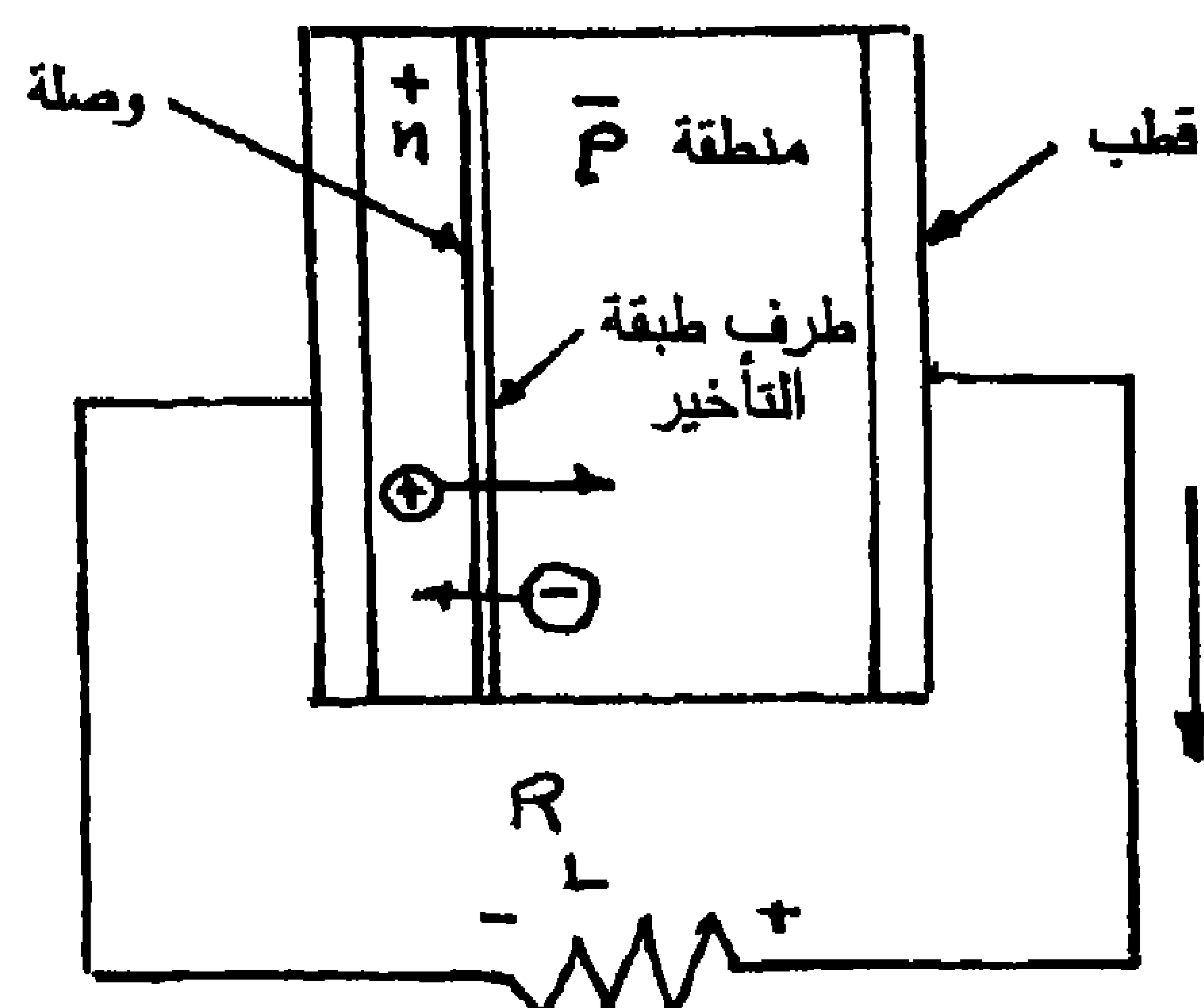
(Barrier)، التوصيل المتماثل (Homo Junction)، التوصيل غير المتماثل (Heterojunction). مثال للأول هو الجالينا (Galena) أو كبريتيد الرصاص – تنظيم شعره شارب القطة (Cat's Whish Ker Arrangent) المستخدم فى جهاز استقبال الراديو الأولى، التوصيل التماثل هو توصيل P - n خلال شبه الموصل، التوصيل غير المتماثل هو توصيل P - n بين شبه موصلين مختلفين.

رغم أنه من السهل تصنيعها فإن تجهيزات توصيل المعدن – شبه الموصل (Schotty Barrier) لم تعد مؤثرة مثل الخلايا الشمسية؛ نظرا لأن كفاءتها منخفضة، وهى لا تستخدم الكثير من الطيف الشمسى مثل الأنواع الأخرى، وهى تقاسى من مشكلة ملازمة حيث إن أى إشعاع يصطدم على المعدن يعمل فقط على رفع درجة حرارته. تحسين الكفاءة (١٠ – ١٥ ٪)، نتيجة للأعمال التجريبية القريبة بهذه التجهيزات، قد واجهت اهتماما بسبب قلة التكلفة.

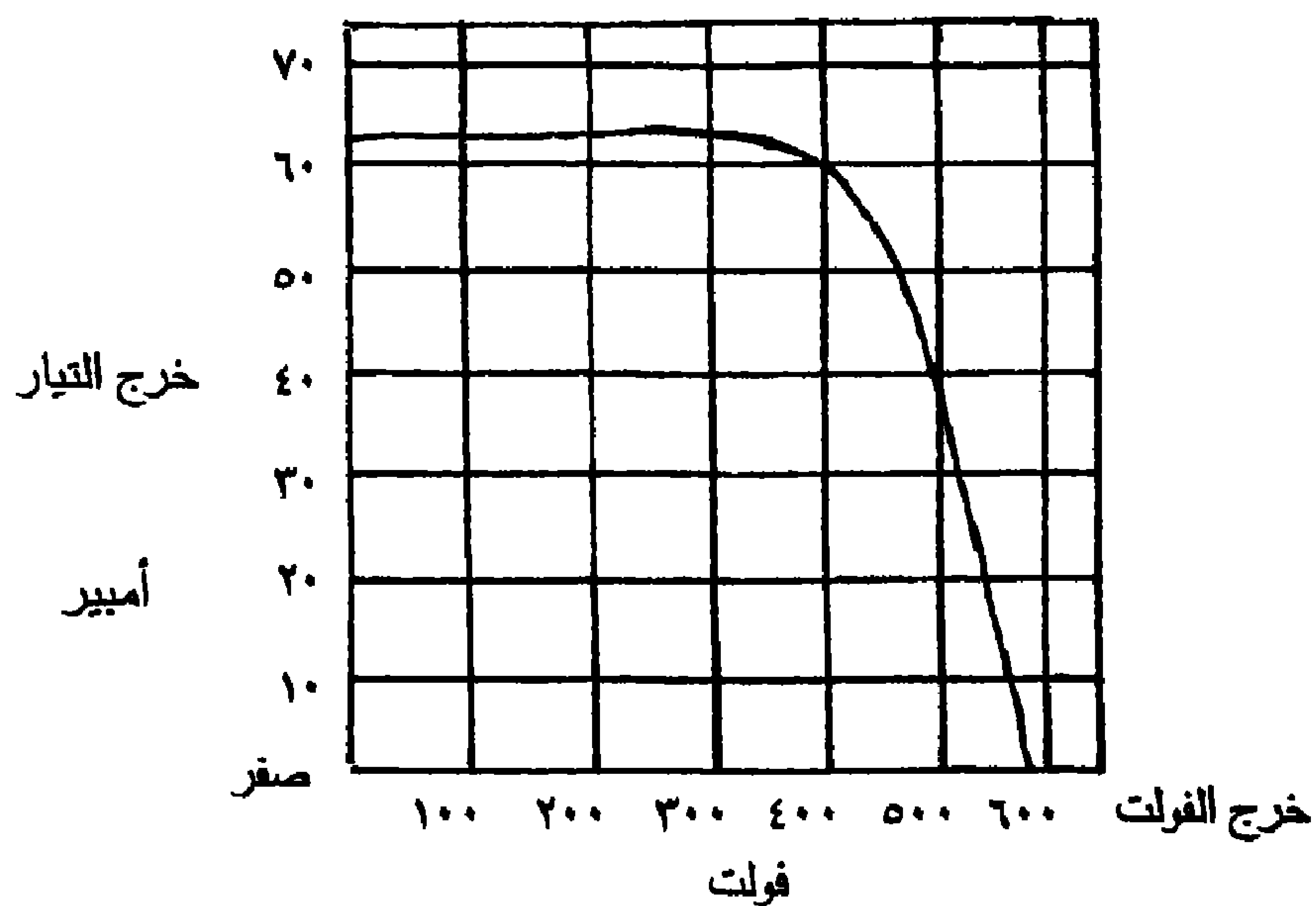
معظم تطوير الخلية – الشمسية حدث مع التجهيزات المتماثلة وغير المتماثلة. شكل (٧/١٠) : يوضح بعض خواص الخلايا الشمسية.




شكل (٧/١٠ – أ) : الخواص الطبيعية لخلية شمسية n / p




**شكل (١٠/٧ - ب) : توضيح لخلية شمسية مع حمل خارجى**




**شكل (١٠/٧ - جـ) : خواص خلية شمسية**

## المواد المرشحة والشكل أو الترتيب

## Candidate Materials And Configurations

من الناحية الواقعية توجد العشرات من المواد منفردة أو متحدة، التي تمتلك الخواص شبه الموصلة اللازمة لتحويل الإشعاع الشمسى بكفاءة عالية إلى الكهرباء. عدد من هذه المواد تم بحثه كمادة تجارية للخلية الشمسية واستخدم ثلاث منها بنجاح فى مركبات الفضاء وهى السيليكون، سلفيد الكادميوم (Cadmium Sulphide)، جاليام أرزينيد Gallium Arsenide – . والبعض الآخر فى حالات تجارية بحثية. وما زال البعض الآخر المعروف نظريا بأنه شبه موصل قوى جارى دراسته بإتقان لهذه الاستخدامات. الجدول (٤/١٠) : يشمل موجزا لهذه المواد وحالتها.

جدول (٤/١٠) : المواد التى اختبرت لتصنيع الخلايا الشمسية :

| المادة | الكفاءة | الحالة | توقعات الاستخدام التجارى | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | النوع | صفر–٥سنة | ٥–١٠ سنة |
| AL Sb | (e) | تجريبى | III - V | لا | يحتمل |
| In P | 0.5 | تجريبى | III - V | لا | يحتمل |
| Ga P | 0.03 | تجريبى | III - V | لا | يحتمل |
| Ga As (AL) | 0.16 | تجريبى | III - V | يحتمل | يحتمل |
| Ga As | - 0.25 | تجريبى | III - V | لا | يحتمل |
| Cd S ($Cu_2$ s) | 0.5 - 0.08 | تطوير متقدم | II - VI | يحتمل | يحتمل |
| Cd Te | 0.05 - 006 | تطوير متقدم | II - VI | لا | يحتمل |
| Si C | 0.03 | تجريبى | IV - VI | لا | غير يحتمل |
| Si | 0.15 - 0.18 | تجارى | عنصرى | نعم | — |
| Zn Se | (e) | احتمال نظرى | II - VI | لا | يحتمل |
| Cu In $S_2$ | (e) | احتمال نظرى | II - III - $VI_2$ | لا | غير يحتمل |
| All $S_2$ | (e) | احتمال نظرى | II - III - $VI_2$ | لا | غير يحتمل |
| $Zn_3$ $P_2$ | (e) | احتمال نظرى | $II_3$ - $V_2$ | لا | يحتمل |
| $Cu_2$ O | (e) | احتمال نظرى | $II_2$ - VI | لا | يحتمل |

بالإضافة إلى المواد المحتملة والتجميعات، يوجد كثير من الأشكال والعمليات للحصول عليها. الأشكال تشمل استخدام مادة العنصر فى طبقات كثيفة ورقيقة (السيليكون والسيلينيوم)، اختلاف فى تصميم التوصيل متضمنة احتمال خلايا التوصيل الرأسية لتسمح بعمل الفولت العالى، مركب من مواد ثلاثية مثل (Ga ،Al ،As) لزيادة الكفاءة، واستخدام مواد طوق الفجوة (Bandgap) كذلك لزيادة الكفاءة من تلك الممكنة مع مواد طوق الفجوة الثابت. الاحتمالات المختلفة ستناقش بالتفصيل فى الآتى :

عمليات تكوين رباط شبه موصل (Semiconductor Junction)، تشمل الانتشار (Diffusion) عند درجات الحرارة العالية، التبخير لتكوين طبقة حجز (Schotty Barrier Layer) على سطح شبه الموصل (مثل السيليكون)، النمو الفوقى للطبقات (Epitaxial) (السيليكون، Ga ،As، أو Ga ،Al ،As) . يمكن تكوين مواد الأساس خلال النمو الفردى للخلية بطرق مختلفة متضمنة، Dentretic Web Grouth, (zochralski Grouth, And Ribbon Generating Methods Called E F G).

الطبقات الرقيقة يمكن تكوينها بالبقبقة (Sputtering)، التبخير، ترسيب البخار، تصفية الحرير (Silk Screening)، واستخدام رباط المعدن "Metal "Lace .

هذه الأمثلة هى مجرد توضيح للتربيطات الكثيرة لمواد تصميمات الخلية، وعمليات التصنيع الممكنة. رغم أن الأبحاث النظرية أوضحت أنه ما يزيد عن تجميع عشر مواد يمكن إنتاج كفاءات تحويل وأن عمليات التصنيع تلك (مثل تصنيع الطبقة الرقيقة) يمكن أن تؤدى إلى خلايا اقتصادية بشكل ملحوظ فى المبدأ، البحث عن القريب من الأنسب عمليا فى التجميع لهذه قد يتطلب وقتا وتكاليف. ولكن فى حالة توفر المستوى المناسب من التمويل مع استمرار مشاركة البارزين من الصناعة، الجامعات، المراكز الأخرى فإنه يمكن الحصول على نظام خلية شمسية أرضى اقتصادى. مئات التطبيقات للطاقة الفولطائية الضوئية الشمسية يتراوح من التجارب العلمية إلى التطبيقات العملية بواسطة الصناعة والحكومة. لقد تمت إقامة إنشاءات تتراوح ما بين القليل من عدد الوات إلى الكيلوات فى أفريقيا، وأمريكا الشمالية، والمكسيك، والولايات المتحدة، وكندا، وأوربا، واليابان، وجنوب شرق آسيا،

والشرق الأوسط. وقد وفرت هذه الطاقة للإضاءة المنزلية وأضواء الملاحة والإنذار، الراديو، الميكروويف، ومحطات التليفزيون، والمساعدات الملاحية على الأرصفة البحرية للبترول، ومحطات رصد المناخ، وأجهزة تعليم التليفزيون فى المناطق البعيدة، وصناديق طلب النجدة على الطرق السريعة، وأضواء تحذير الطائرات فى المطارات.

## ٧ - البرك الشمسية (Solar Ponds)

### ١ - مقدمة :

البرك الشمسية تجمع ما بين جمع الطاقة الشمسية وتخزين الحرارة المحسوسة (Sensible Heat Collection). لقد لوحظت انعكاسات درجة الحرارة فى البحيرات الطبيعية ذات التدرج فى التركيز العالى للأملاح المذابة (أى محلول مركز عند القاع ومخفف عند السطح). هذه الظاهرة أوحت إمكانية إنشاء مجمعات أفقية شمسية على مستوى كبير كبرك. البرك الشمسية غير التى لا تعمل بالحمل الحرارى فى الاتجاه الرأسى (Non - Convective) تم عرضها كمقترح كطريقة بسيطة وغير مكلفة لجمع وتخزين الطاقة الشمسية على المستوى الكبير.

الخاصيتان الأساسيتان للطاقة الشمسية، هما عدم استمراريتها وكذلك خفة حدتها، وهذا هو السبب فى عدم استخدامها على المستوى الكبير فى الدول الغربية وإن كان هذا يناسب الدول العربية. أولا المجمعات المستخدمة لمواد مثل الزجاج، المعادن، الخشب ... إلخ لها حدود حجمية؛ ولذلك عدد كبير منها مع التوصيل البيتى المناسب سيكون لازما لحصد مقدار كبير من الطاقة الشمسية. ثانيا، الإمداد بالطاقة طبقا للحاجة سيتطلب تجهيز خاص لحفظ الطاقة ونظام إعادة التحويل (Reconversion) وذلك لترقيق التغيرات فى العزل بسبب الغطاء من السحب، التأثيرات الموسمية.

البرك الشمسية توفر طريقة اقتصادية حول تلك المشكلتين باستخدام كتلة ماء لكل من التجميع والتخزين للطاقة الشمسية. يتم تخزين الطاقة فى درجة منخفضة من الشكل الحرارى (٦٠ إلى ١٠٠ °م) والتى تكون مناسبة لاستخدامات مختلفة مثل التدفئة المكانية والطاقة الحرارية فى العمليات الصناعية. البديل هو أن محركات دورة رانكن Rankine Cycle يمكن استخدامها للحصول على طاقة ميكانيكية أو كهربية.

البرك تمت دراستها بكثافة فى معمل العلوم الطبيعية فى إسرائيل وفى دول أخرى. وكذلك مجموعة من العلماء السوفييت فى أكاديمية العلوم قاموا بأبحاث مكثفة فى هذا المجال فى عام ١٩٧٣ . وكذلك فى الهند حيث تم تصميم واستخدام البرك الشمسية لإنتاج الملح.

استخدام بركة شمسية متدرجة الملوحة (Salt Gradient Solar Pond) بمسطح ٤٠٠ متر مربع فى أعوام ١٩٨٠ ، ١٩٨١ ، حيث وجد أن الفقد فى الحرارة نحو الأرض زاد عن الحرارة المكتسبة بواسطة البركة. وكما أنه فى تقرير من جامعة نيومكسيكو أن بركة شمسية متدرجة الملوحة وصلت فيها درجة الحرارة إلى ١٠٨°م وكانت المياه تغلى خلال شهر يوليو ١٩٨٠. ثبات التدرجات الملحية وفى الحرارة حدث لها اضطراب بشدة عند بداية غليان البركة. وحيث إن تلك البركة كانت ذات مساحة صغيرة نسبيا حيث القطر ١٣ مترا، فقد كان من المتوقع أن البرك الأكبر سوف تكون أكثر حساسية للغليان، إلا فى حالة استخلاص الحرارة.

إمكانية استخدام البرك الشمسية لتوفير الماء الساخن للمجتمعات السكنية ثبت جدواها الاقتصادية والفنية. البرك الشمسية استخدمت لتوفير التدفئة واحتياطيات الماء الساخن للمجتمعات فى واشنطن، فى تكساس. فقد وجد كمثال أن بركة شمسية بقطر ١٠٠ متر، وعمق طبقة التخزين واحد متر يمكنها توفير الطاقة الكافية لتشغيل (لإدارة) وحدة الامتصاص أو دورة رانكن لتحقيق متطلبات تكييف الهواء لخمسين منزلا. ولقد قدر أن معامل التكلفة الرئيسى فى استخدام البرك الشمسية هو كمية الملح الضرورية لاستمرار التدرج فى الملوحة.

## ٢ - مبدأ عمل البرك الشمسية :

البركة الشمسية هى تجهيزة بسيطة لجمع وحفظ حرارة الشمس. البرك الطبيعية تحول الإشعاع الشمسى إلى حرارة، ولكن الحرارة تفقد بسرعة خلال عملية الحمل الحرارى (Convection) فى البركة والبخر من سطحها. البركة الشمسية، على الجانب الآخر، مصممة لخفض الحمل الحرارى والفقد الحرارى بالبخر بحيث كميات الحرارة المفيدة يمكن جمعها وتخزينها. البرك الشمسية يمكن أن تنقسم إلى ذات الحمل الحرارى (Convecting) وغير ذات الحمل الحرارى (Non - Convecting).

## البرك الشمسية ذات الحمل الحرارى :

البركة الشمسية ذات الحمل الحرارى تقلل الفقد الحرارى بالتحويل بواسطة غشاء شفاف أو طبقة زجاجية. شكل (٨/١٠) .



شكل (٨/١٠) : حوض شمسى بالحمل الحرارى

أحد أنواع البرك الشمسية ذات الحمل الحرارى يستخدم أنبوب بلاستيك مملوء بالماء، كما هو موضح فى الشكل (٩/١٠). كل نسق عيارى لبركة يشمل كيسا بلاستيكيا طويلا، ضيقا، يقيس ٥ × ٦٠ م محتويا الماء بعمق ٥ – ١٠ سم. الكيس (Bag) له سطح علوى شفاف ليسمح بانتقال ضوء الشمس ولمنع الفقد بالبخر. قاع الكيس أسود ليمتص ضوء الشمس. طبقة العزل أسفل الكيس البلاستيك تقلل الفقد الحرارى نحو الأرض. طبقة أو طبقتين يمكن أن تتقنطر (Arched) فوق كيس الماء لتثبيط الفقد بالإشعاع والحمل.



شكل (٩/١٠) : منطقة فى بركة شمسية ضحلة

فى هذا النوع من البرك الشمسية، يتم إزالة الماء الساخن فى فترة آخر النهار وتخزينه فى خزان معزول. المادة الزجاجية الشفافة للبركة الشمسية قد تشمل طبقة من البى فى سى أو كسوة الأكليريك الشفاف. الكسوة التى تغطى الأكياس البلاستيك تعمل على حجز الإشعاعات فوق البنفسجية (UV) وتزيد كثيرا عمر الأكياس البلاستيك.

**البرك الشمسية غير ذات الحمل الحرارى :**

البرك الشمسية غير ذات الحمل الحرارى تمنع فقد الحرارة بتثبيط الحمل للقوى المسببة للطفو الحرارى. فى البرك الشمسية ذات الحمل الحرارى ينقل الإشعاع الشمسى خلال الماء نحو القاع، حيث يمتص وبالتالى يصبح الماء القريب من القاع ساخنا. قوة الطفو الطبيعى تعمل على صعود الماء الساخن، حيث تنطلق الحرارة نحو الجو. فى البرك الشمسية غير ذات الحمل الحرارى بمنع الماء الساخن من الصعود نحو السطح. البرك غير ذات الحمل الحرارى يمكن تثبيتها باللزوجة، بواسطة جيل أو ملح. برك التدرج الملحى (Salt Gradient Ponds) هى النوع العادى للبرك غير ذات الحمل الحرارى والتى سيتم شرحها.

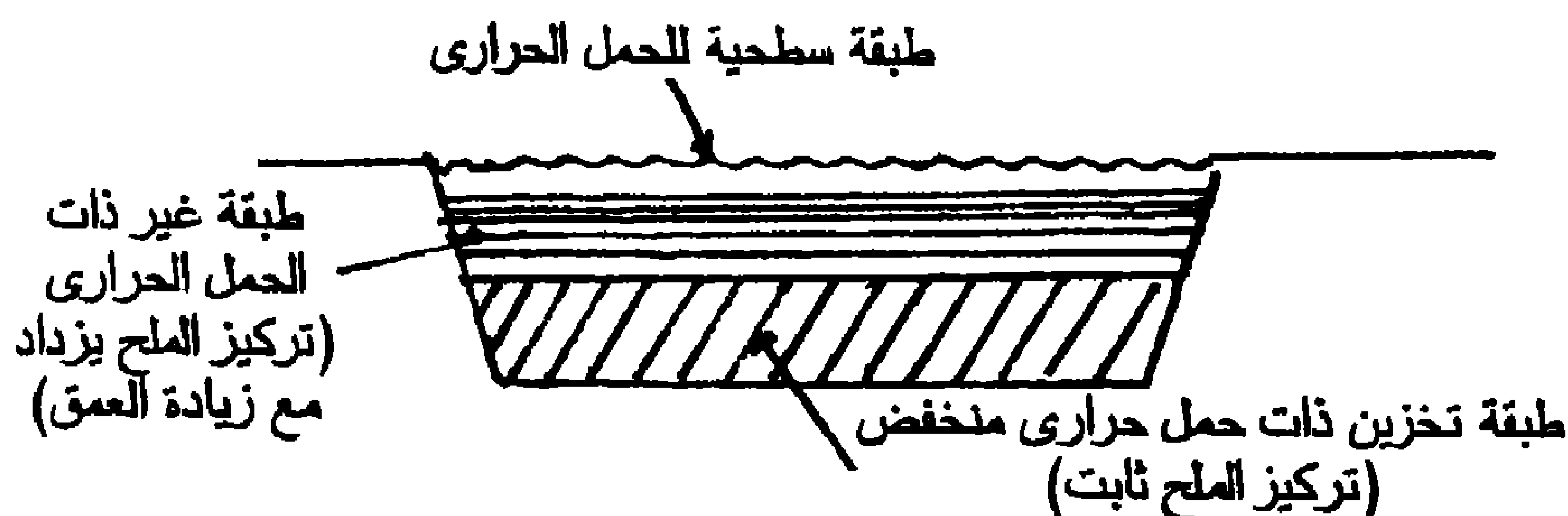
**برك التدرج الملحى : (Salt Gradient Ponds)**

البرك الشمسية هى كتلة من الماء الضحل بعمق من ١ – ١,٥ متر متر وذات مساحة تجميع ضخمة، والتى تعمل كمصيدة للحرارة. وهى تحتوى على أملاح مذابة لتوليد تدرج كثافة مستقر (Stable Density Gradient) – الأملاح يتم إذابتها بتركيزات عالية قرب القاع، مع خفض التركيز نحو السطح – الأملاح الأكثر استخداما فى برك التدرج الملحى هو كلوريد الصوديوم، كلوريد المغنسيوم، وأملاح أخرى كثيرة.

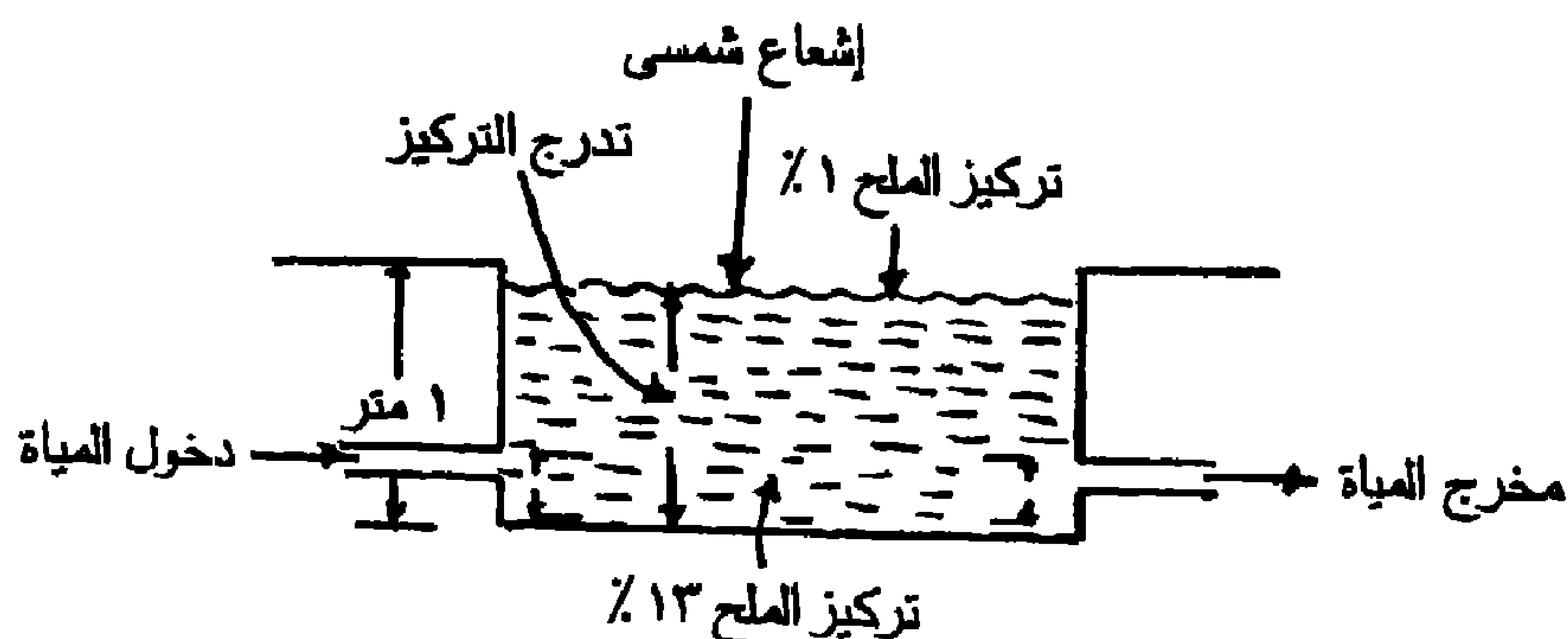
جزء من الإشعاع الشمسى الساقط الذى يدخل سطح البركة يتم امتصاصه خلال العمق والباقى الذى يخترق البركة يتم امتصاصه عند القاع الأسود. إذا كانت البركة مملوءة بالماء العذب أولا، فإن الطبقات السفلى سوف تسخن وتتمدد وترتفع نحو السطح. بسبب خلط الحمل الحرارى والفقد الحرارى عند السطح، يتم تحقيق القليل فقط من الارتفاع فى درجة الحرارة فى البركة. على الجانب الآخر، يمكن إبعاد حدوث الحمل الحرارى بتوفير تركيز ملح قوى وكافى فى البداية. فى هذه الحالة، فإن

التمدد الحرارى فى الطبقات السفلى الأكثر سخونة يكون غير كافٍ لإحداث عدم توازن البركة . مع كبح الحمل الحرارى، تفقد الحرارة من الطبقات السفلى فقط بواسطة التوصيل (Conduction). وبسبب التوصيل الحرارى الضعيف نسبيا للماء، فإن الماء يعمل كعازل ويسمح بحدوث ارتفاع فى درجة حرارة طبقات القاع إلى أعلا من ٩٠°م. يمكن استخلاص الطاقة من البركة باستقبال الماء فى الطبقات الساخنة للبركة خلال مبادل حرارى.

بركة التدرج الملحى (الشكل (١٠/١٠ – أ) تتكون من ثلاث طبقات فى الطبقة العليا، يحدث حمل حرارى رأسى يسبب تأثيرات تبخير الرياح.



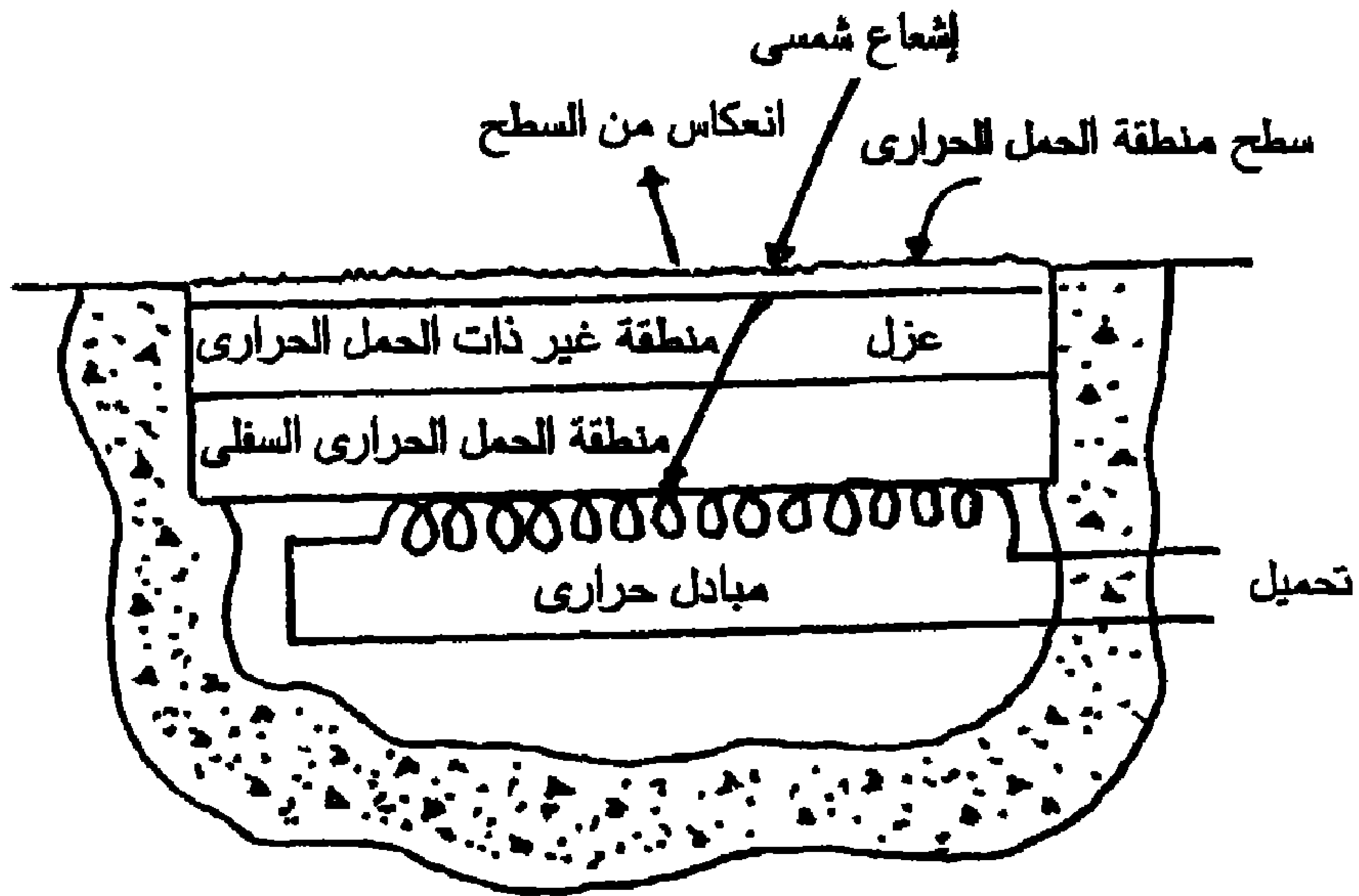

**شكل (١٠/١٠ – أ) : بركة شمسية بالتدرج الملحى**




**شكل (١٠/١٠ – ب) : مخطط للبركة الشمسية**

**ذات تركيز رأسى متدرج من $Mg\ Cl_2$**

لا يوجد غشاء أو غطاء زجاجى لتغطية تلك البركة. الطبقة التالية والتى يمكن أن يصل سمكها إلى واحد متر، تحتوى على تركيز زائد من الملح مع زيادة العمق. هذه الطبقة ليست ذات الحمل الحرارى (Non - Convecting)، حتى رغم زيادة درجة الحرارة مع العمق؛ ذلك لأن التركيز الملحى العالى مع زيادة العمق يبطل ويعيق قوى الطفو الحرارى. طبقة القاع هى طبقة ذات حمل حرارى ذات تركيز ملحى ثابت، والتى توفر التخزين الحرارى. البرك غير ذات الحمل الحرارى من هذا النوع عرف أنها تسخن الماء حتى درجة حرارة الغليان. أحد الطرق لاستخلاص الحرارة من مثل هذه البركة بدون إحداث خلط غير مرغوب فيه هو بوضع مبادل حرارى أسفل المنطقة السفلى مباشرة كما هو موضح فى الشكل (١١/ ١٠).




شكل (١١/ ١٠) : بركة شمسية بالتدرج الملحى بالمبادل الحرارى

فى البرك الشمسية بالتدرج الملحى، يستخدم الملح المذاب لإيجاد طبقة من الماء ذات كثافات مختلفة. زيادة الملح، زيادة كثافة الماء. تركيز الملح عند السطح يكون منخفضا – عادة أقل من ٥٪ بالوزن، وبذلك فإن الماء يكون خفيفا نسبيا. تركيز الملح يزداد بانتظام مع العمق حتى يكون مرتفعا جدا

عند القاع، حوالى ٢٠٪. لذلك فإن البركة الشمسية لها ثلاث مناطق بعمق الملوحة الآتى :

(١) منطقة الحمل الحرارى السطحى أو منطقة الحمل الحرارى العلوى

من ٠,٣ – ٠,٥ متر ، الملوحة أقل من ٥٪.

(٢) منطقة غير الحمل حرارى

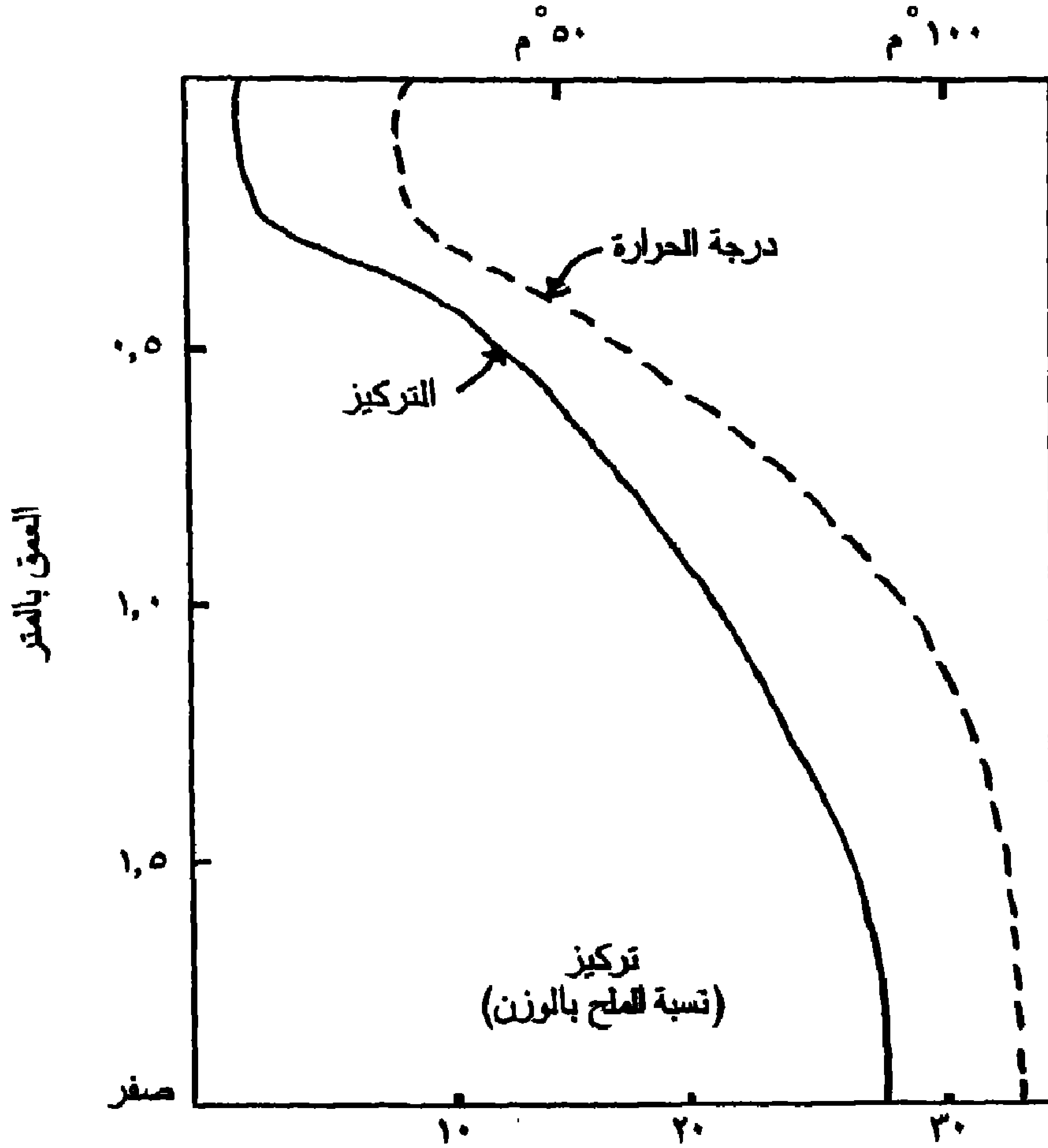
من ١ – ١,٥ متر تزداد الملوحة مع العمق.

(٣) منطقة الحمل الحرارى والتخزين السفلية

من ١,٥ – ٢ متر الملوحة ≅ ٢٠٪.

فى تقسيم المناطق السابق، فإن البركة الشمسية ذات عمق ٢ متر تعتبر كمثال، حيث العمق قد يتغير من ١ إلى ٢ متر. عند القاع تكون منطقة التخزين، والتى هى نمودجيا لعمق من ١ – ٢ متر ولكن يمكن أن تقل لتكون نصف متر أو أن تزيد إلى عمق عدة أمتار.

كلما زاد عمق المنطقة، زاد تخزين الحرارة. الطبقة السفلية تحتجز الحرارة لفترات طويلة، مثبطة تأثيرات التغيرات اليومية وحتى الموسمية. هذه القدرة ذات التخزين منخفض التكاليف هى واحدة من مميزات البرك الشمسية ذات التدرج الملحى، حيث يمكن استخراج الطاقة فى الليل وكذلك أثناء النهار. حتى فى حالة طول الفترة الزمنية لغطاء السحب أو حتى غطاء الثلج فإن الطاقة المخزنة تظل متاحة؛ نظرا لأن الماء المالح قرب القاع يسخن فإنه يتمدد. ولكنه، لا يستطيع أن يرتفع لكونه أكثر كثافة مقارنة بالماء الأقل ملوحة فوقه؛ لذلك، البركة الملحية هى «غير ذات الحمل الحرارى» (Non - Convecting) ، الماء الساخن يظل محتجزا إلى أسفل. ولكن تظل بعض الحرارة تفقد بواسطة التوصيل إلى السطح، ولكن هذه العملية ضعيفة جدا مقارنة بالحمل الحرارى، المياه السفلية قد تسخن إلى وما بعد درجة حرارة غليان الماء النقى. أعلا درجة حرارة تم تسجيلها فى البركة الشمسية هى ١٠٨°م، وذلك فى صيف ١٩٨٠ فى جامعة نيو مكسيكو.




**شكل (١٢/١٠) : درجة الحرارة والتركيز لبركة شمسية**

طبقا للمكان، ونقاء الماء ودرجة الحرارة، فإن البركة الشمسية يمكن أن تقتنص من ١٠ إلى ٢٠٪ من الطاقة الشمسية الساقطة على سطحه؛ لذلك، كل متر مربع من مساحة سطح البركة يمكن أن يوفر من نصف إلى اثنين جيجاجول (Giga Joules) من الطاقة الحرارية فى العام عند درجة من ٤٠°م إلى ٨٠°م. مجمع اللوح المستوى بنفس المساحة يكون ضعف الكفاءة ولكن التكلفة عشرة أضعاف.

## ٣ - تكوين والمحافظة على استمرار ثبات التدرج الملحى

## Forming And Maintaining Stable Density Gradient

النجاح التقنى للبركة الملحية كمجمع للطاقة الشمسية يعتمد أساسا على ثبات الطبقة غير ذات الحمل الحرارى (Non - Convective) ، الجزء من الإشعاع الشمسى الذى يصل إلى قاع البركة، كمية الحرارة المفقودة من منطقة الحمل الحرارى والاستخلاص المؤثر للحرارة للاستخدام المباشر أو دورة الديناميكا الحرارية (Thermodynamic Cycle).

الملح المستخدم فى البركة الشمسية لخلق التدرج فى الكثافة يجب أن تكون له الخصائص التالية.

(١) يجب أن يكون شديد الإذابة لتوفير كثافة عالية للسائل .

(٢) الإذابة يجب ألا تتغير كثيرا باختلاف درجة الحرارة.

(٣) محلوله يجب أن يكون شفافا بالنسبة للإشعاع الشمسى .

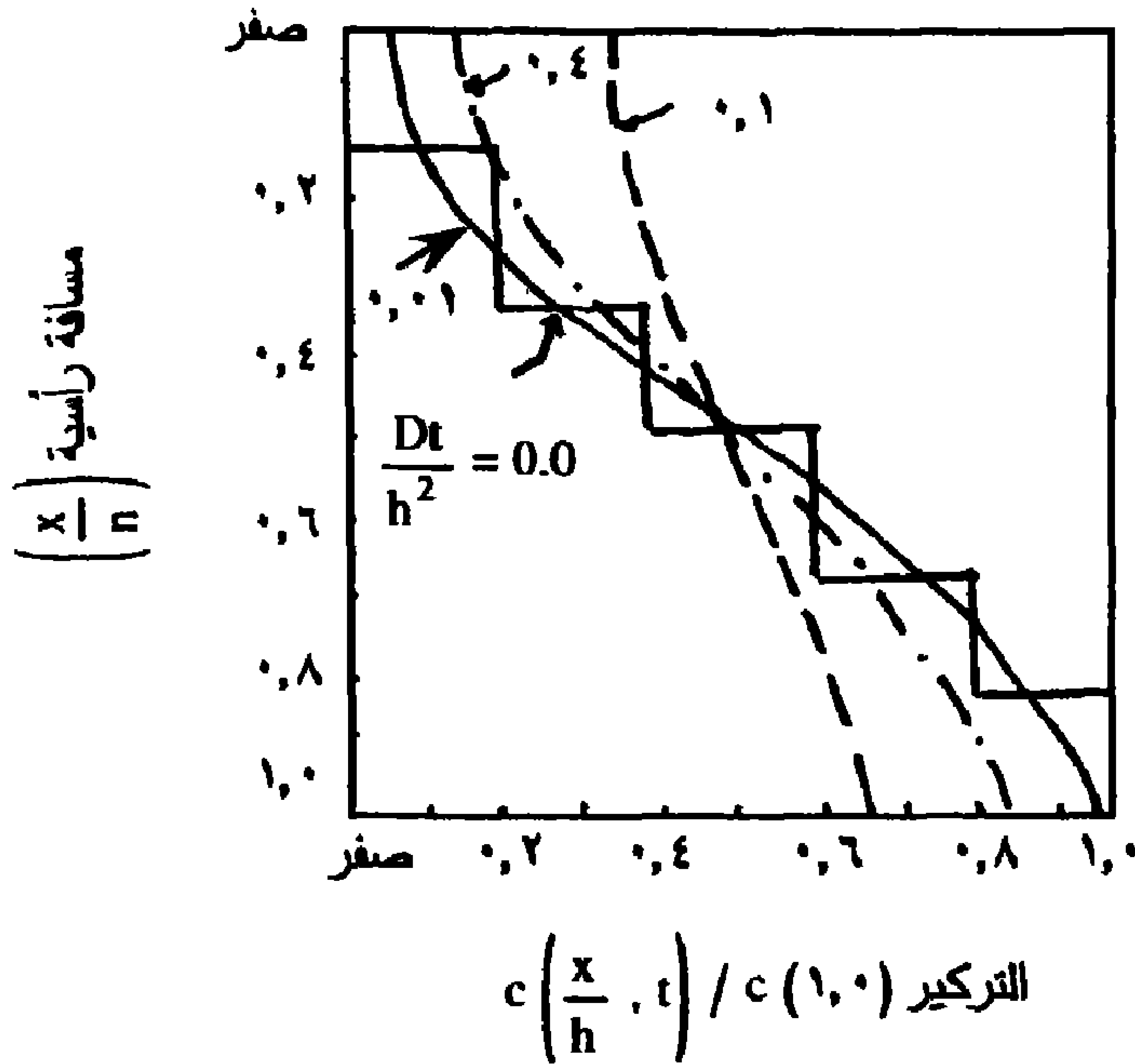
(٤) يجب أن لا يشكل خطورة بيئية .

(٥) أن يكون متاحا وبوفرة قريبا من الموقع لخفض التكاليف .

(٦) كما يجب أن يكون غير مكلف .

نظرا لأن الملح يشكل التكلفة الرئيسية للبركة؛ لذلك، فإن الجدوى الاقتصادية للبركة الشمسية سوف تعتمد كلية على اختيار الملح المناسب. ثبات طبقة غير ذات الحمل الحرارى فى وجود التدرج فى درجة الحرارة يمكن استمرارها بخلق تدرج فى التركيز الملحى عميق وكاف. بهدف إيجاد التركيز الأولى للتدرج الملحى اللازم لمنع الحمل الحرارى، الطريقة العادية هى بملء البركة بطبقات متعددة من المحلول الملحى حيث الطبقات المتتالية تتغير بالتدريج بالنسبة للتركيز ما بين قريب من التشبع عند القاع إلى الماء العذب عند السطح. بالنسبة لبركة نموذجية لعمق واحد متر، يمكن استخدام من ٦ إلى ٨ طبقات. الطبقات الأقل كثافة يمكن أن تطفو بالتتالى على سطح الطبقات الموجودة، أو بالتتالى، يمكن وضع الطبقات الأكثر كثافة عند قاع البركة متدفقة تحت التيارات وبالتدريج تحمل كل البركة. بسبب اضطراب الخلط والتسرب

الجـريئى الذى يحـدث أثناء الملء، فـإن نوع التـركـيـز فى شكل درج السلم شكل (١٣/١٠) يستخرج (Evolves) إلى تدرج فى التركيز قريبا من التجانس.




**شكل (١٣/١٠) : مخطط لسلم من ٦ طبقات**

**D = معامل التسرب للجزيئات**

**h = العمق الكلى**

**C (x / h,t) = التركيز**

**t = الوقت**

أمـلاح مـخـتلفـة مـثـل كـلوريـد المغنسـيـوم ($Mg\ Cl_2$)، نـتـرات الصـوديـوم ($Na\ NO_3$)، كلوريـد الصـوديوم (Na Cl) ... إلـخ. تم ترشـيـحـهـا للبركة، الأملاح المتاحة طبيعيا ذات المكونات المختلطة والتى تتغير من مكان إلى آخر.

كل من كلوريد المغنسيوم ونترات الصوديوم لهما كثافات تشبع أعلا عن كلوريد الصـوديوم، وبذا يمكن أن يوفـرا اسـتـقـرارا أكـثـر عندما تكون البركـة سـاخنة. القيم النموذجية لتركيز الملح على سطح القاع هى ٢٠ كيلو جراما فى المتر المكعب، نزداد

إلى ٣٠٠ و٢٦٠ كيلو جرام على المتر المكعب بالنسبة لكل من كلوريد المغنسيوم، كلوريد الصوديوم على التوالى عند القاع. كمية الملح المتسرب نحو الطبقة السطحية هى لحسن الحظ منخفضة بما فيه الكفاية لاستمرار ثبات البركة (بمجرد تكوينها) لعدة أسابيع. ولكن يكون من الضرورى الإضافة من آن إلى آخر محاليل الملح المركز عند القاع وغسيل السطح بماء عذب للمحافظة على استمرار التدرج فى التركيز فى وجود تأثيرات تسرب. تأثير الرياح السطحية والأمواج يخلق منطقة حمل حرارى علوية (Upper Convecting Zone). العمق عند هذه المنطقة يجب أن يكون عند أدناه (١٠ – ١٥ سم) لتعظيم كفاءة التجميع. عمق منطقة الحمل الحرارى السفلية يحدد كمية الطاقة الحرارية التى يمكن تخزينها وهى نموذجيا ما بين ٠,٥ – ١ متر. كما تم ذكره، فى عدم وجود تغير مستمر للملح (Flux) عند السطح وعند القاع للبركة، فإن التسرب الجزيئى سيعمل على محو تدرج الكثافة الذى تكون أولا. هذا الفقد بالتسرب يمكن تجديده مع استمرارالتدرج فى التركيز وذلك بإدخال محلول الملح المركز من آن إلى آخر عند القاع وغسيل السطح بالماء العذب. غسيل السطح بالماء العذب يمنع من زيادة التركيز عند السطح الذى يمكن أن يحدث ليس فقط بسبب التسرب الجزيئى ولكن بسبب البخر والخلط بسبب الرياح، الأمواج، ... إلخ. طريقة أخرى ذات كفاءة والتى لا تتطلب الإضافة المستمرة للملح، هى مفهوم البركة الساقطة (Falling Pond Concept). ويتم سحب السائل من طبقة الماء الساخن ووضعها فى المبخر الوميضى (Flash Evaporator) حيث يتم سحب الحرارة. المحلول عندئذ يكون بتركيز أعلا وحجم أقل، يتم عودته إلى قاع البركة.

الفرق بين المعدلات التى عندها يتم سحب السائل وعودته بسبب السقوط أو الهبوط المنتظم للبركة، المعدلات يتم اختيارها بما يمكن من التعويض عن التسرب الجزيئى للملح إلى أعلا وإضافة الماء العذب عند السطح الحر للمحافظة على ثبات التركيز عند كل من قاع البركة وسطح البركة، سرعة الهبوط أو السقوط تقدر بحوالى ٠,٢ – ٠,٥ مليمتر فى اليوم. طريقة أخرى للمحافظة على التدرج فى الكثافة مقترحة والتى يبدو أنها مناسبة معمليا. الطبقات الست لمحلول $Mg\ Cl_2$ التى تملأ البركة (المثال أو النموذج) تم فصلها بواسطة طبقات رقيقة من البلاستيك الشفاف. الطبقات لها الكثير من الثقوب الصغيرة لمنع نمو فقاعات الهواء بين الطبقات.

قد يكون من المفيد تغطية سطح البركة بواسطة حشية منفوخة (In Flated Mattress) من البلاستيك تشبه تلك التى استخدمت للمساعدة فى تدفئة حمامات السباحة بواسطة الطاقة الشمسية. فهى سوف توفر طبقة عزل إضافية، تقلل من الفقد بالبخر، منع الأتربة والمطر من دخول البركة ومنع التيارات السطحية بفعل الرياح.

مشكلة أخرى محتملة هى فقد الملح والحرارة بتسرب المحلول خلال قاع البركة النفاذ. ولمنع حدوث ذلك، فإنه يمكن تغطية قاع البركة بغطاء غير مسامى من البلاستيك أو المطاط. بسبب درجة الحرارة العالية عند قاع البركة، فإنه يوجد احتمال نحو تحلل المواد العضوية والذى يمكن أن يكون فقاعة غاز أسفل البركة. مثل مشاكل الفقاعة، هذه تم تجنبها بوضع طبقة من الرمال بسمك ١٥ سم أسفل البطانة (Liner) بحيث يمكن للغاز أن يهرب خلال ميول البركة إلى الجو.

جزء العزل الواصل إلى قاع البركة يعتمد على عمق البركة. البرك العميقة تقلل الفقد الحرارى لأعلا من منطقة الحمل الحرارى السفلى ولكن تقلل كذلك من كمية العزل التى تصل إلى قاع البركة. الفقد الحرارى خلال قاع البركة عادة ليس كبيرا – ولكن، نظرا لأن حول أسفل البركة سيتم تسخينه، فإنه يجب الحرص نحو تنشيط هذا التسخين فى نمو البكتريا والكائنات الصغيرة الأخرى والذى يمكن أن يحدث تلف لقاع البركة الأسود. بمجرد أن الأرض أسفل البركة تم تسخينها واستقرارها حراريا، فإنها سوف تعمل كعازل حرارى جيد وسوف تعيد جزءا من الحرارة أثناء شهور الشتاء. ويمكن خفض الفقد الحرارى خلا الحوائط الجانبية، وذلك بجعل محيط البركة صغيرا ما أمكن ذلك؛ وذلك بالنسبة لمساحة معطاه للبركة؛ ولذا يقترح عمل البركة المستديرة. ولكن يمتنع ذلك لأسباب عملية، حيث إن البرك عادة لا تنشأ فى شكل دائرى محدد.

## ٤ – استخلاص الطاقة الحرارية (Extraction Of Thermal Energy)

الطاقة تكون مختزنة فى شكل حرارى متدنى للمنطقة السفلى للحمل الحرارى. الحمل الحرارى فى المنطقة يعود إلى عملية استخلاص الحرارة، التى تتم بسحب المياه عالية التركيز (Brine) الساخنة وعودة المياه عالية التركيز الباردة. إنه ليس عمليا تغطية قاع البركة بمصفوفة من المواسير التى تعمل كمبادل حرارى لسببين: أولهما زيادة التكلفة كثيرا فى حالة البرك الضخمة التى تصل مساحتها إلى كيلومتر مربع.

ثانيهما فى حالة عدم وجود حمل حرارى حول المواسير، فإن الانتقال الحرارى من المحلول المركزى الساخن إلى السائل فى المواسير سيكون ضعيفا جدا.

استخلاص الطاقة الحرارية المخزنة فى الطبقات السفلى يمكن عمله بسهولة بدون حدوث اضطراب منطقة التدرج الملحى غير ذات الحمل الحرارى فوقها. يمكن سحب المياه الساخنة من البركة الشمسية بدون حدوث اضطراب للتدرج فى التركيز. يتم ذلك بتجهيز مخرج للمياه عند نفس الارتفاع لمدخل المياه. يمكن سحب المحلول المركز الساخن وعودة المحلول المركز البارد فى شكل تدفق رقائق (Laminal Flow) بسبب وجود تدرج فى الكثافة (Density Gradient). بالنسبة للبرك الصغيرة يمكن وضع المبادلات الحرارية المكونة من مواسير فى الطبقات الساخنة السفلية، ولكن هذا يستتبعه ليس فقط التكلفة الأولية للإنشاء ولكن الفقد المستمر للضخ المصاحب لسائل الانتقال الحرارى. الطريقة البسيطة هى بالاستفادة بالطبقات ذات الكثافة الثابتة (Stable Density Stratification) واستخدام طريقة السحب الانتقائى (Selective With drawals)، التقنية المطبقة عادة للتحكم فى نوعية المياه فى الخزانات الضخمة. يتم وضع بالوعة عدم ارتداد (Sink) فى طبقات السحب الثابتة للسائل لسحب السوائل من طبقة أفقية صغيرة، كما فى حالة سحب تذكرة واحدة من رصة تذاكر. هذا التدفق يختلف إلى حد ما عن ذلك الذى يمكن أن يحدث إذا كان السائل متجانسا. ظاهرة السحب الانتقائى توفر الوسائل التى بها أولا : تدرج الكثافة الثابتة المطلوبة فى الطبقات العليا للعزل يمكن تصميمه واستمراره. ثانيا : طبقة الماء الساخن يمكن إزالتها، تمريرها خلال مبادل حرارى وعودتها عند درجة حرارة منخفضة إلى قاع البركة. تستخدم الطاقة الحرارية من البركة الشمسية لتشغيل محرك دائرة رانكن (Rankine Cycle). الماء الساخن عند مستوى قاع البركة يتم ضخه إلى المبخر حيث السائل العضوى الفعال يتم تبخيره شكل (١٤/ ١٠).

تتدفق الأبخرة تحت ضغط عال نحو التربين حيث يتمدد خلال عجلة التربين والمولد الكهربى المتصل بها. عندئذ يتحرك البخار نحو المكثف حيث الماء البارد من برج التبريد يكثف البخار ثانيا إلى السائل. يتم ضخ السائل ثانيا إلى المبخر حيث يتم تكرار الدورة. تم فى أستراليا إنشاء بركة شمسية بمسطح ٢٠٠٠ متر مربع بمحرك قدرته ٢٠ كيلوات.

## ٥ - أنواع البرك الشمسية :

البرك الشمسية لها أنواع عديدة مثل البركة الشمسية الضحلة، البركة الشمسية المقسمة بحواجز (Partitioned)، البركة الشمسية المثبتة باللزوجة (Viscosity Stabilized)، البركنة الشمسية ذات الطبقات الغشائية (Membrane Stratified)، البركة الشمسية المشبعة. سيتم وصف مختصر لكل منها.

### أ - البرك الشمسية الضحلة : (Shallow Solar Ponds)

البركة الشمسية الضحلة عبارة عن كتلة من الماء ذات عمق ضحل حيث تعمل للتجميع الضخم والتخزين للطاقة الشمسية. وهى ذات مساحة كبيرة، حاشد أو مجمع منخفض التكاليف حيث تتعرض المياه مباشرة للإشعاع الشمسى ومحتجزا Enclosed فى مادة أساس للعزل الحرارى وطبقة أو طبقتين من مادة زجاجية أو بلاستيك شفاف (Glaze Meterial) . من أجل خفض التكلفة تستخدم مواد من البلمرات حينما أمكن ذلك بدلا من المعدن والزجاج. يوجد العديد من بدائل التصميمات. ولكن التصميم المحبب تبطين البركة بمادة سوداء قوية مثل (Butyl Rubber، Hypalon، أو Chlorinated Polyethylene) حيث يتم شدها فوق قاعدة العزل والتصاقها بأعلى الحاجز الخرسانى. يتم عندئذ وضع طبقتين من البلاستيك الشفاف فوق البطانة السوداء والتصاقها بالحاجز الخرسانى. الفراغ بين البطانة والطبقة السفلى يتم ملؤه بالماء والطبقة العليا يتم نفخها (In Flated) باستخدام نافخ صغير (Small Blower) . فى تصميم آخر الموصى به فى التطبيقات الضخمة يتم تصنيع كيس بلاستيك من طبقتين حيث القاع أسود والسقف شفاف. يوضع على وسادة عزل ويملأ بالماء. مقنطرا فوق السطح العلوى للكيس شرائح من البلاستيك الشفاف شبه شبكة المصبعات المموجه مثلثه على طول أطراف المصد النهائى وكذلك على السطح بواسطة شرائط مربوطة من الصلب حيث تتطابق شرائح البلاستيك. الكثير من مثل البرك الشمسية الضحلة يمكن ربطها مع بعضها البعض ويمكن فتح الماء الساخن منها وتخزينه فى خزانات ضخمة معزولة لخفض الفقد الحرارى أثناء الليل والظروف الجوية الصعبة. درجة حرارة الماء فى المجال من ٥٠ – ٧٥°م يمكن الحصول عليها باستخدام سائل ثان مثل الفريون الذى يمكنه إدارة تربين إلى المولد الكهربى.

ب- البركة الشمسية المقسمة بحواجز :

منطقة الحمل الحرارى السفلى فى البركة الشمسية المقسمة تكون مفصولة عن منطقة غير الحمل الحرارى بواسطة جزء شفاف وطريقة العمل تظل كما هى مثل البركة الشمسية التقليدية ذات التدرج الملحى. فكرة الفصل أو الحاجز للبركة الشمسية التى ابتكرها (Rable And Nielson)، حيث المنطقة السفلى للحمل الحرارى يمكن استخدامها للتخزين الموسمى للحرارة للتدفئة المنزلية. يساعد القسم كذلك فى استمرار الثبات فى البركة ويمكن استخلاص الحرارة من منطقة الحمل الحرارى السفلى بدون اضطراب لمنطقة غير الحمل الحرارى. عموما، استخدام غشاء مرن يوصى به ولكن فى هذه الحالة فإن التحميل الكلى للحاجز يجب أن يكون صغيرا لمنع التلف والتمزق. والذى يعنى أنه إما أن كثافة الطبقة السفلى يجب أن تكون بحيث إن منطقة الحمل الحرارى تحمل (Supports) طبقة غير الحمل الحرارى، أو أن منطقة الحمل الحرارى يجب أن تعطى ضغطا رأسيا لإتزان (Palance) قوة الجذب على الحاجز. فى الحالة الأخيرة يمكن استخدام الماء العذب فى منطقة الحمل الحرارى بما يبعد حدوث مشاكل التآكل التى تصاحب استخلاص الطاقة من المحلول المركز. فى البركة الشمسية المقسمة بحواجز، الغشاء يسمح باستخدام ملح قليل جدا ذلك لأن محتوى الملح يتناسب مع مربع العمق. ولكن فى هذه الحالة فإن الغشاء يجب تثبيته بحوائط البركة بواسطة وصلة التئام مانعة للتسرب. لقد رؤى أن درجة الحرارة فى منطقة الحمل الحرارى تنخفض مع زيادة سمك طبقة الحمل الحرارى، ولكن متوسط درجة الحرارة ليس له علاقة بالسمك. كذلك تم الوصول إلى نتائج تجريبية أن كفاءة البركة الشمسية بالحاجز أعلا عن البركة الشمسية التقليدية غير ذات الحمل الحرارى. أقصى كفاءة بنسبة ٣٧ ٪ ، ٢٦,٩ ٪ يتم الحصول عليها عند درجة حرارة تجميع ٥٠°م و ١٠٠°م على التوالى.

جـ- البرك الشمسية المستقرة باللزوجة :

فى حالة البرك الشمسية المستقرة باللزوجة يستخدم نوع من الهلام (الجيل) فى الماء، بما يجعله غير ذى الحمل الحرارى. فكرة البركة الشمسية المستقرة باللزوجة تمت أولا بواسطة (Shafer) ويمكن وصف الظاهرة كسكون (Static) وليس استقرارا (Stable) أو ثباتا. من المعروف أن رقم رينولد الذى يربط العلاقة بين قوى الطفو

والسحب اللزج (Viscous Drag) المسئول عن الدوران (Citculation) وقيمته الحرجة فى مستهل الحمل الحرارى الطبيعى لطبقة سائل مقيدة من أعلى ومن أسفل، وتسخينها من القاع هو ١٧٠٧ . رقم رينولد طبقا للمعادلة

$$Ra = \frac{g\,B\,\Delta T\,d3}{Va}$$

حيث :

B = معامل تمدد الملح .

$\Delta T$ = فرق درجة الحرارة بين طبقتين من السائل .

d = المسافة بين طبقتين .

V = اللزوجة الحركية للسائل .

a = معامل تسرب الملح .

g = ثابت الجاذبية .

من المعادلة السابقة يلاحظ أنه مع زيادة اللزوجة فإن رقم رينولد يمكن أن ينخفض إلى أقل من الرقم الحرج ولذلك إعاقة الحمل الحرارى الطبيعى. لقد لوحظ أنه حتى ماء بسيط مع صمغ مذاب يمكن أن ينتج محاليل مركزة (Syrub) ذات لزوجة ما بين حوالى ٣٦,٣ × ١٠^٣ /كجرام المتر × ثانية مناسبة للبركة للعملية غير ذات الحمل الحرارى.

المواد المناسبة لبرك الاستقرار والسكون باللزوجة يجب أن يكون لديها قدرة انتقال لأشعة الشمس عالية، وكفاءة التكثيف العالية يجب أن تكون قادرة على الأداء عند درجات حرارة حتى ٧٠°م. البلمرات الطبيعية مثل الصمغ العربى، النشا، الجيلاتين كلها مواد مفيدة. كل من البلمرات المخلقة مثل أملاح حامض البولى أكليريك، البولى أكليرامايد، وكذلك (Carboxy Vinyl Polymors) مثل (Carboxy Methyl Cellulose، Hydroxy Ethyl Cellulose، Methyl Cellulose)، وكذلك Hydroxy Propyl - Methyl Cellulose ... إلخ. يمكن استخدامها كذلك لتثبيت واستقرار البركة. كذلك يمكن استخدام العديد من البلمرات الهلامية المتقاطعة

(Cross Linked Gels)، وكذلك جيل المنظفات / الزيت / الماء يمكن تحضيره كذلك والذى يمكن أن يكون مناسبا للاستخدام فى البرك. لقد أوصى أحد الباحثين (Shaffer) باستخدام (Carboxy Vinyl Polymer) كعامل زيادة الكثافة (Thickener) الذى وجد أنه مستقر حتى عند 75°م ومع المثبط المناسب أظهر خواص كيماوية ضوئية جيدة. فكرة البركة الشمسية المثبتة باللزوجة يبدو أنها فكرة واعده ولكنها تتطلب دراسات عميقة وحاليا ليست منافسا اقتصاديا مع البرك الشمسية بالتدرج الملحى.

**د - البرك الشمسية ذات الطبقات الغشائية :**

البديل الممكن للبركة الشمسية ذات التدرج الملحى التقليدية هو البركة ذات الطبقات الغشائية. الفكرة نحوها يبدو أنها أخذت من مستجمعات اللوح المستوى (Plate Collectors) حيث يستخدم عش النحل الشفاف لتثبيط الحمل الحرارى الطبيعى. فى البركة التقليدية ذات التدرج الملحى توجد ثلاث مناطق، طبقة الحمل الحرارى العلوية، طبقة غير ذات الحمل الحرارى (Non - Convection)، طبقة الحمل الحرارى السفلية، بينما فى حالة البركة الشمسية ذات الطبقات الغشائية توجد منطقتان فقط ، وهما العلوية المنطقة غير ذات الحمل الحرارى (عند السطح وتعمل كطبقة عازلة) وطبقة حمل حرارى سفلية عند القاع (تعمل كطبقة تخزين الحرارة) . الفرق الأساسى بين النوعين هو فى آلية استمرار عدم – الحمل الحرارى فى منطقة عدم الحمل الحرارى. فى حالة البركة الشمسية ذات الطبقات الغشائية يتم تثبيط الحمل الحرارى باستخدام أغشية شفافة فى المنطقة ذات غير – الحمل الحرارى بفواصل فيما بينها صغيرة بما يكفى لتثبيط الحمل الحرارى. القليل من المميزات المتعلقة بالبركة الشمسية طبقا للطبقات الغشائية كالآتى :

(١) نظرا لعدم استخدام الملح فى البركة فإن هذه البركة تكون صيانتها منخفضة التكاليف .

(٢) لا توجد مخاطر بيئية أو جيولوجية لهذا النوع من البرك الشمسية.

(٣) لا توجد منطقة حمل حرارى علوية فى هذا النوع وبذلك تحقق نفس الكفاءة مقارنة بالبركه الشمسية بالتدرج الملحى.

(٤) العمق الأكبر لمنطقة الحمل الحرارى المنخفض يمكن المحافظة على بقائه فى بركة طبقات الغشاء بما ينتج عنه التخزين الموسمى، التغير فى درجة حرارة النهار قليل وكفاءة تجميع عالية.

**يقترح ثلاثة أنواع من الأغشية :**

(١) صفحات أفقية Horizontal Sheets .

(٢) صفحات رأسية .

(٣) أنابيب رأسية .

استخدام الغشاء الأفقى السميك عند أعلا (السطح) للبركة للحماية من الأتربة والمخلفات ولمنع تكوين العفن للأغشية.

يقترح التيفلون (Te Flon) ليكون مادة غشاء مناسبة بسبب طول عمره، الشفافية العالية، الخمول لكل الكيماويات، متاح تجاريا المقاسات والسمك ... إلخ. بخلاف الماء كسائل فى البركة الشمسية بالغشاء فإن سوائل أخرى مثل محلول السكر المركز، الإيثانول، خليط من الماء والإيثانول من المواد المقترحة كسوائل .

**هـ- البرك الشمسية المشبعة :**

البرك الشمسية المشبعة هى كتل مائية غير ذات الحمل الحرارى، تعتمد على التدرج فى الكثافة الناتج عن اختلاف الإذابة للملح طبقا لدرجة الحرارة. فى البركة الشمسية المشبعة التدرج الطبيعى فى درجة الحرارة ما بين القمة والقاع يحدث ويحافظ على استمرار تدرج فى الكثافة بحركة الأيون (Ion Migration) . فى مثل هذه البركة يستخدم الملح الذى تزداد إذابته سريعا مع زيادة درجة الحرارة. يظل ماء البركة مشبعا بمثل هذا الملح عند كل المستويات، وحيث إن البركة تكون أكثر سخونة عند القاع مقارنة بالقمة فإن إذابة الملح تزداد فى القاع فى مثل هذه البركة يمنع التسرب الرأسى للملح ويكون التدرج فى الكثافة ثابتا وبذا تكون صيانة البركة غير واردة. عموما فى البرك الشمسية المشبعة الملح الموصى به هو $Na_2 SO_4$، $Mg Cl_2$، البوراكس. كبريتات الصوديوم تبدى زيادة فى الكثافة مع درجة الحرارة حتى الانتقال عند ٣٠,٣°م. عند هذه النقطة تبدأ كثافة المحلول فى الانخفاض مع زيادة درجة

الحرارة والتى توضح أن كبريتات الصوديوم ليست ملح الاستخدام المقبول. كل من $Mg\,Cl_2$ والبوراكس هما أملاح يمكن أن تكون بركة شمسية ذات تشبع ثابت.

**و - استخدام البرك الشمسية :**

يسبب التخزين الكبير للحرارة والتغير القليل جدا فى درجة حرارة البركة خلال اليوم، فإن البركة الشمسية لها العديد من الاستخدامات مثل التسخين والتبريد للمساكن، حمامات السباحة والتدفئة بطريقة الصوبة، التسخين للعمليات الصناعية، إعذاب المياه، إنتاج الطاقة، تجفيف المحاصيل الزراعية، إنتاج سوائل الوقود من المصادر المتجددة مثل الإيثانول. وسيتم مناقشة بعض هذه الاستخدامات :

**(١) تدفئة وتبريد المبانى :**

بسبب قدرة التخزين الحرارية العالية فى منطقة الحمل الحرارى السفلى للبركة الشمسية، فإن لها استخداما مثاليا للتسخين حتى عند المناطق البعيدة عن خط الاستواء ولعدة أيام من السحب. كثير من العلماء قاموا بمحاولات لاستخدام البركة الشمسية للتدفئة المنزلية. لقد أظهرت الحسابات أن البركة الشمسية ذات قطر ١٠٠ متر وعمق واحد متر، منطقة الحمل الحرارى السفلى كافية لتشغيل إما نظام امتصاص أو تبريد قادر على تحقيق حمل تبريد بنسبة ١٠٠ ٪ لعدد ٥٠ منزل فى ولاية (Fortworth) الأمريكية. حتى أن المبنى من دور واحد يمكن تدفئته اقتصاديا ببركة شمسية حيث فى هذه الحالة تكون مساحة البركة الشمسية مساوية تقريبا لمساحة أرضية المبنى.

**(٢) إنتاج الطاقة :**

يمكن استخدام البركة الشمسية لتوليد الكهرباء، وذلك بأن يحث (Drive) تجهيزه كهروحرارية (Thermo Electric) أو محرك دورة رانكن العضوى حيث التربين الذى يعمل بتبخير السائل العضوى ذى درجة حرارة غليان منخفضة. مفهوم البركة الشمسية لإنتاج الطاقة يعتبر من الطرق الواعدة حيث الشمس والأرض المتاحة لإقامة البرك الشمسية الكبيرة اللازمة لإنتاج كميات كبيرة من الطاقة الكهربية. حتى أن الحرارة ذات الدرجة المنخفضة التى يتم الحصول عليها من البركة الشمسية يمكن تحويلها إلى طاقة كهربية. كفاءة التحويل محدودة بسبب درجة حرارة التشغيل المنخفضة (٧٠ – ١٠٠°م) . بسبب درجة الحرارة المنخفضة، فإن محطة الطاقة

بالبركة الشمسية تحتاج إلى سوائل تشغيل ذات درجة حرارة غليان منخفضة مثل الهالوكاربون (مثل الفريون) أو الهيدروكاربونات مثل البروبين .



شكل (١٤/١٠) : مخطط لمحطة طاقة كهربية بالطاقة الشمسية

**إعذاب المياه (Desalination)**

الطاقة الحرارية منخفضة التكاليف يمكن استخدامها لإعذاب المياه المالحة لاستخدامها فى الشرب أو الرى.

وحدة إزالة الملوحة متعددة الوميض (Multiflash) مع البركة الشمسية هى من الاقتراحات الجيدة للحصول على مياه مقطرة لأن وحدة الإعذاب ذات الوميض المتعدد تعمل عند درجة حرارة أقل من ١٠٠°م والتى يمكن الحصول عليها بواسطة البركة الشمسية. هذا النظام يكون مناسبا فى الأماكن حيث المياه متوسطة الملوحة (Brakish) تكون متاحة. لقد قدر أنه يمكن الحصول على مياه مقطرة بحوالى ٤٧٠٠ متر مكعب فى اليوم من بركة بمساحة ٠,٣١ كم٢ باستخدام وحدة إزالة الملوحة

متعددة التأثير (Multi - Effect). تكلفة المياه المقطرة يبدو أنها مرتفعة فى الدول الصناعية ولكن يمكن استخدامها فى الدول النامية حيث يوجد قصور فى مياه الشرب.

**الاستخدام فى الصناعة :**

الطاقة الحرارية التى تستخدم مباشرة فى تحضير ومعالجة المواد والسلع الصناعية، وبذا يتم الاقتصاد فى استخدام زيت البترول، والغاز، والكهرباء، والفحم.

**الحرارة لتحويل الكتلة الحيوية :**

البرك الشمسية التى تقام فى الموقع يمكنها توفير الحرارة لتحويل الكتلة الحيوية إلى الكحول أو الميثان، حيث يعتبر ذلك تزاوجا بين نوعين من الطاقة المتجددة.

**٨ - الإشكاليات المتعلقة باستخدام الطاقة الشمسية وهذه تشمل :**

١ – إشكاليات تتعلق بطبيعة المصدر نفسه، حيث انخفاض كثافة الطاقة الشمسية الساقطة على وحدة المساحة بما يتطلب مساحات كبيرة لتجميع كمية الطاقة المطلوبة، كذلك عدم وجود توافق بين مصادر الطاقة المتاحة من المجمعات الشمسية والأحمال المطلوبة للاستخدام النهائى، مثال على ذلك الأحمال المطلوبة ليلا حيث لا تتوافر الشمس وكذلك فى بعض أوقات النهار.

٢ – فى المبانى ذات الارتفاعات المتفاوتة، يصعب تركيب السخانات فى المبانى المنخفضة بسبب الظلال التى تسببها المبانى الأكثر ارتفاعا حيث تحجب أشعة الشمس فترات متفاوتة خلال النهار.

٣ – يعد التلوث من أهم المشاكل المرتبطة باستخدام كافة التكنولوجيات الشمسية حيث يؤدى تراكم التراب والرمال والملوثات الأخرى على أسطح المجمعات الشمسية خاصة مع وجود رطوبة فى الجو – إلى تكوين طبقة عازلة فوق هذه الأسطح تقلل من الاستفادة من الإشعاع الشمسى الساقط على الأسطح المعنية؛ لذلك فإنه يلزم تنظيف هذه الأسطح بصفة دورية، عادة مرة فى الأسبوع فى الظروف الجوية العادية، أو كل يوم بعد حدوث عواصف رملية أو ترابية. وتجدر الإشارة هنا إلى أنه ينبغى التفرقة بين التلوث بالرمال فى المناطق الصحراوية وهو أقل خطورة وتأثيرا : نظرا لكبر حجم الحبيبات ونفاذيتها للإشعاع الشمسى بدرجة

معينة، وبين التلوث بالأتربة فى المناطق الزراعية والمدن. وفى المدن يضاف لمصادر التلوث الدخان والجسيمات العالقة وهى جميعا أكبر تأثيرا خاصة فى حالة ارتفاع الرطوبة النسبية فى الجو، بما يتطلب عناية خاصة لتنظيف أسطح المجمعات الشمسية بأنواعها المختلفة.

٤ – تكنولوجيا استخدام البرك الشمسية المتدرجة الملوحة والحرارة تعد من التكنولوجيات التى فى سبيلها للنضوج والتى تحتاج إلى مزيد من البحوث. وأهم العقبات أمام هذه التكنولوجيا هو: (١) انخفاض الكفاءة بصورة ملحوظة إلى ٢ – ٥٪ على أقصى تقدير؛ نظرا لانخفاض فارق درجات حرارة التشغيل، (٢) الحاجة إلى كمية كبيرة من المياه العذبة للحفاظ على تدرج الملوحة، الأمر الذى يعد صعبا فى المواقع الطبيعية المفضلة لهذه البحيرات الشمسية وهى الصحارى المشمسة والتى تعانى من نقص المياه العذبة عادة، وإن كانت هذه المشكلة يمكن التغلب عليها باستخدام نظام التقطير الشمسى للمياه المالحة.

وأخيرا تعرض هذه البرك للعوامل الجوية وأهمها على الإطلاق سرعات الهواء العالية والتى يمكن أن تحدث موجات تؤدى إلى تقليب المياه واختلاط طبقاتها مما قد يبطل كلا من التدرج فى الملوحة فى درجة الحرارة والذى يفقد هذه البحيرات خواصها الأساسية فى إمكان توليد الطاقة من فارق درجات الحرارة. ويتم التغلب على هذه المشكلة بتغطية سطح المياه بشبكات من البلاستيك تطفو فوق سطح البركة الشمسية، إلا أن ذلك يساعد على نمو الطحالب والكائنات الدقيقة التى تحجب أشعة الشمس.

٥ – أهم الإشكاليات التى تعوق استخدام منظومات الاستفادة من الطاقة المتجددة على نطاق واسع وخاصة منظومات الطاقة الشمسية (وطاقة الرياح) هو ارتفاع التكلفة الاستثمارية لمشروعات الطاقة المتجدد بصفة عامة ومن أهمها مشروعات الطاقة الشمسية، وذلك لارتفاع التكلفة المبدئية أو الرأسمالية للمعدات والمنظومات بصفة رئيسية وذلك مقارنة بمصادر الطاقة التقليدية والتى تنتج نفس الكمية من الطاقة.

# الفصل الحادى عشر

# طاقة الرياح (Wind Energy)

## ١ - مقدمة :

الرياح هى أساسا هواء متحرك، حامل معه طاقة حركية. كمية الطاقة الموجودة فى الريح فى أى لحظة تتناسب مع سرعة الريح فى هذه اللحظة. كذلك فإن درجة حرارة الريح تؤثر على محتوى الريح من الطاقة ولكن ليس بأهمية فى البيئة للنظم ذات الأساس من الرياح لإنتاج الطاقة.

الرياح يتم توليدها بسبب الاختلافات فى درجة الحرارة والتى ترجع إلى مختلف المناطق التى تستقبل ضوء الشمس بكثافات مختلفة. تميل الكتل الهوائية للتحرك من المناطق الأكثر سخونة إلى المناطق الأكثر برودة، وبذا يتم توليد الرياح. وبالتالى، فإن حركات الرياح تسبب فروقا فى الضغط الجوى والذى يؤدى إلى الاضطراب (Turbulence) وزيادة فى الرياح.

فى حياتنا اليومية، تقوم الرياح بخدمات عديدة وذات معدلات مختلفة – بدءا من توفير النسيم البارد إلى العواصف الشديدة، وتجفيف الملابس والحبوب والرياح الموسمية، وتسهيل طيران الطيور إلى تحرك السفن الضخمة. يمكن وصف الرياح بأنها المجالات الطبيعية الكبيرة لتسخير، حصد وحفظ الطاقة الشمسية.

الطاقة الواضحة للرياح جذبت انتباه الإنسان منذ آلاف السنين واستخدمها لدفع السفن، وتوفير طاقة الطواحين الهوائية الدوارة لدفع الماء من الآبار وطحين الحاصلات الزراعية. ويعود اختراع طاحونة الهواء إلى الزمن القديم من التاريخ، فقد اكتشف أن القدماء المصريين استخدموا طواحين الهواء منذ ٣٦٠٠ سنة قبل الميلاد لضخ الماء لرى الأراضى ولطحن الحبوب. وقام الفرس منذ القدم

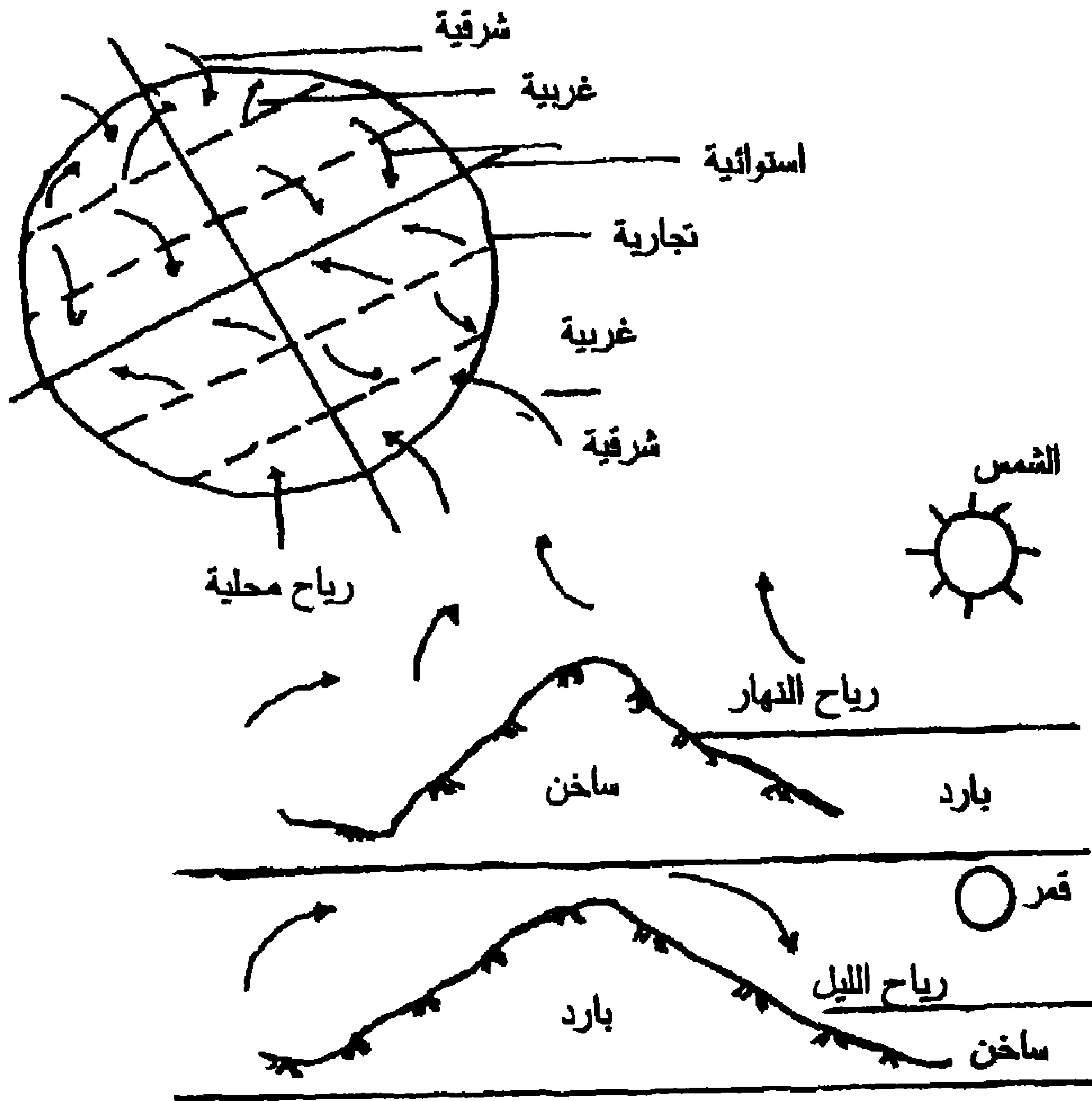
بطحن الحبوب بواسطة المطحنة الشراعية (Sail Mill) ذات المحور الرأسى. والأوروبيون استوردوا هذه التكنولوجيا من الشرق وكانوا أول من أدخل الطاحونة ذات المحور الأفقى فى حوالى القرن الثانى عشر. غالبا فإن كل التطويرات قد حدثت مع هذا النوع الأخير، وذلك بسبب سرعات الدوران المنخفضة وزيادة الكفاءة للطاحونة ذات عامود الإدارة الأفقى. حتى القرن الماضى من الوجهة التقليدية فإن المجتمعات القروية قد استخدمت طاحونات الهواء (Wind Mills) للأغراض الآتية :

* للقيام بالأعمال المتصلة بالزراعة مثل طحين الحبوب، عصر قصب السكر، تقطيع الأخشاب، وفى عملية دراسة القمح والشعير.
* فى استخدامات خاصة مثل تحريك المياه المالحة لإنتاج الملح.
* فى توليد الكهرباء (فى السنين الأخيرة) .

الاستخدام الميكانيكى للرياح لدفع السفن، ضخ المياه، طحن الحبوب، وتدوير الماكينات، وعمل الكثير من مختلف الأعمال قد تقدم كثيرا خلال القرون الماضية. استخدام الرياح كمصدر من مصادر الطاقة الأكثر استخداما - قد بدأ فى القرن التاسع عشر. فى الواقع فإن الطاحونات الهوائية (Wind Mills) كان لها الدور الرئيسى فى إشعال الثورة الصناعية .

**٢ - كيف تهب الرياح ؟ (How Does The Wind Blow ?)**

دوران الهواء فى الجو يكون بسبب عدم تجانس التسخين لسطح الأرض بواسطة الشمس. عند تمدد الهواء فوق المنطقة الساخنة مباشرة، فإنه يندفع إلى أعلا بواسطة الهواء الأبرد والأكثر كثافة والذى يهب من المناطق المحيطة مسببا الرياح. طبيعة التربة، درجة السحاب فوقها، وزاوية الشمس فى السماء كلها عوامل ذات التأثير على هذه العملية. عموما أثناء النهار، فإن الهواء فوق الكتلة الأرضية يميل إلى الدفء بسرعة أعلا من الهواء فوق الماء. فى المناطق الساحلية فإن هذا يسبب الرياح الساحلية الشديدة . فى الليل فإن العملية تنعكس لأن الهواء يبرد بسرعة أعلا على الأرض اليابسة؛ ولذلك فإن النسيم يهب بعيدا عن الشاطئ (Off - Shore) شكل (١١/١) .




**شكل (١١/١) : رياح النهار والليل**

الرياح الكوكبية الرئيسية يكون سببها نفس الطريقة - الهواء السطحى البارد يأتى من الأقطاب من حيث يجبر الهواء الدافئ فوق المنطقة الاستوائية ليرتفع. ولكن اتجاه تحرك تلك الكتل الهوائية يتأثر بدوران الأرض، والتأثير النهائى للدوران الضخم للهواء فى عكس اتجاه عقرب الساعة حول المناطق ذات الضغط المنخفض فى نصف الكرة الشمالى، وفى اتجاه عقرب الساعة فى نصف الكرة الأرضية الجنوبى. شدة واتجاه هذه الرياح الكوكبية السيارة يتغير موسميا بسبب تغير المدخلات من الطاقة الشمسية ما بين المنخفضة (فى الشتاء) إلى المرتفعة (فى الصيف). بالرغم من الطبيعة المتقطعة للرياح، فإن الإطار العام للريح فى أى مكان معين يظل ثابتا بشكل ملحوظ عاما بعد عام. ويكون متوسط سرعات الريح عاليا فى

المناطق الجبلية والساحلية فى الأراضى المنخفضة. كذلك فإن الرياح تميل إلى أن تهب بشكل ثابت وبقوة أكثر على سطح الماء حيث يوجد خفض فى تأثير الإعاقة السطحية.

تزداد سرعة الرياح مع الارتفاع. فقد تم قياسها عند ارتفاع قياسى لعشرات الأمتار حيث وجد أنها أكثر بنسبة ٢٥ – ٤٠٪ عن قربها من السطح. عند ارتفاع ٦٠ مترا يمكن أن تكون ٣٠ – ٦٠٪ أعلا بسبب الخفض فى تأثير المقاومة لسطح الأرض.

### ٣ - استخدام الرياح Using The Wind

الرياح كمصدر للطاقة له نفس العيوب مثل كل مصادر الطاقة المنبعثة من الطاقة الشمسية، وتحديدا فهو مصدر طاقة مشتت ومنتشر.

هذا التشتت والانتشار يجعل الاستخدام والتسخير للرياح عملية صعبة، بما يحد من استخدامها. للحصول على كمية كبيرة من الطاقة من الرياح، فإنه يلزم استخدام ماكينات رياح ضخمة. ولكن تم تعلمه من الخبرة أنه بدلا من تولد كميات ضخمة من الطاقة من ماكينة واحدة ضخمة، يكون الأفضل من الناحية العملية استخدام العديد من ماكينات الرياح (Wind Machines) الصغيرة، مفهوم مزارع الرياح (Wind Farms) خرج من هذا الفهم والإدراك .

**جدول (١١/١) : والذى يوضح بعض حقول الرياح فى العالم**

| اسم المشروع | الدانمرك | المملكة المتحدة | أمريكا |
|---|---|---|---|
| الطاقة | ٥ ميجاوات (١٩٩١) | ٧,٥ ميجاوات إلى ١٢,٥ | ٢٥ ميجاوات |
| طاقة الوحدة | ٤٥٠ كيلوات | ٣٠٠ كيلوات، ٥٠٠ كيلوات | ٣٣٠ كيلوات |
| عدد الوحدات فى حقل الرياح | ١١ | ٢٥ | ٧٥ |

| نوع تربين الرياح | HA 3 B | HA 3 B لـ ٣٠٠ كيلوات، VA WT لـ ٥٠٠ كيلوات | HA 3 B |
|---|---|---|---|
| ملاحظات | بعيدا عن الشاطئ فى الماء الضحل | مزرعتين على الشاطئ وواحدة فى الماء. | — |
| الوصف | أول مشروع فى الماء بعيدا عن الشاطئ. فى الماء الضحل بعمق ٢,١ إلى ٥,١ متر. وحدات الرياح فى صفين بفاصل ٣٠٠ متر المسافة بين الوحدات فى الصف ٣٠٠ متر تكاليف التوليد ٠,٠٦٥ دولار للكيلوات ساعة | مزرعتين فى اليابسة وواحدة فى الماء. متوسط سرعة الرياح ٨ متر فى الساعة. الفاصل عشرة أضعاف قطر الروتور. ٣٠٠ كيلوات تربين الرياح له قطر روتور ٣٣ متر. المساحة الكلية للمكينات ٣٠٠ كيلوات حوالى ٤ كيلو متر مربع. تربين الرياح بالمحور الرأسى للماكينة ٥٠٠ كيلوات | قطر الدوار (Rotor) ٣١ مترا. الدوار عند ارتفاع ٢٥ مترا – ٨ كم من سان فرانسيسكو عمر التصميم ٢٥ عاما المولدات ٤٨٠ فولت، ١٨٠٠ لفه فى الدقيقة محول ٧٤٨٠ / ٢١٠٢ كيلو فولت أكبر مزرعة رياح فى العالم ١٩٨٨ |

H A 3 B = Horizontal Axis 3 Blades

V A W T = Vertical Axis Wind Turbine

فى جمهورية الصين الشعبية، تستخدم طواحين الهواء بكثافة فى مجال الرى للمساحات الصغيرة، باستخدام نظم مغرفة القادوس التى تعمل باستخدام طاحونة الهواء. الطواحين الهوائية (Wind Mills) تنشأ دائما من المواد المحلية المتاحة مثل البامبو والخشب، وعادة يتم إنشاؤها بواسطة المستخدم، رغم أنه كانت تصنع بواسطة صناع

محترفين. مع تطوير بسيط يستخدم نفس التجهيز لطحن الحبوب والأرز وفى تقشير الحاصلات الزراعية وكذلك فى الضخ. فى الحقيقة فإن الصينيين لهم تاريخ طويل فى استخدام طاقة الرياح. يبدو أن طاحونة الهواء الأفقية أدخلت إلى الصين فى فترة من عام ٩٦٠ إلى ١٢٨٠ ميلادية. لقد ظهر فى شكل مختلف عن النوع الفارسى، باستخدام الإبحار نحو الريح المشتق من السفينة الشراعية الصينية بالنسبة لزعانفها Vanes).

فى تايلاند، استخدمت طواحين الهواء البسيطة المصنعة محليا، باستخدام قضبان من الخشب أو من البامبو مع أشرعة من القماش وذلك لتحريك المياه. قريبا أدخل نوع الدافع الخشبى ذى الريشتين (Two - Bladed) فى الطواحين الهوائية. هنا، يتم رفع المياه بواسطة دلو المغرفة (Scoop - Buckete). الدلو يغرف الماء من الآبار الضحلة ويرفعه إلى أعلا عجلة دوارة. كل دلو بالتالى يتحرك إلى الرحلة السفلية، حيث يتم تفريغ الماء فى قناة خشبيه (Wooden Chute). يتم عندئذ رفع المياه أعلا سلم الماء إلى نقطة فوق مستوى سطح الأرض وتتدفق فى قنوات محفورة فى الأرض إلى المحاصيل. يتكون السلم من سلسلة من درجات السلم الخشبية المثبتة فى سلسلة متصلة (غير منتهية) تدار بواسطة وصلة ميكانيكية لطاحونة هوائية. درجات السلم مثبتة عن قرب بحوض خشبى مائل وقادرة على سحب المياه من الحوض ورفعه إلى حوالى واحد متر.

ويرجع استخدام الرياح فى أوروبا إلى القرن ١٢ ، ١٣ وخاصة فى هولندا وفى إنجلترا. وكانت هذه الماكينات مصنعة من الخشب، الحديد، الحجر، وقد صنعت هذه الماكينات بطريقة أولية، وكانت تعمل بكفاءة. ثم تطورت الصناعة وتنوع الاستخدام. وقد استخدم المزارعون الطواحين الهوائية لمئات السنين فى روسيا.

وقد استخدمت طواحين الهواء الصغيرة فى البرتغال لرى مساحات صغيرة من الأراضى. طواحين الهواء هذه، ذات قطر ١٥ قدما، كانت مصنوعة من معدن عادة كانت تركب على أبراج صغيرة جدا. فى المناطق الريفية يستخدم الدلو (Pucket) فى الرى، بينما فى المدن عادة يتم تثبيت طواحين الهواء على أسقف المنازل لرفع الماء من مستوى سطح الأرض إلى خزانات المياه على الأسقف عند عدم توفر الضغط الكافى لرفع المياه إلى الارتفاع المناسب.

الطلمبات التى استخدمت فى هذا الغرض هى طلمبات الغشاء (Diaphragm) البسيطة المدمجة.

## فوائد وحدود استخدام طاقة الرياح

| فوائد طاقة الرياح | محددات طاقة الرياح |
|---|---|
| ١ – طاقة متجددة هامة بدون أسعار.<br>٢ – متاحة فى كثير من الأماكن الأرضية والمساحات المائية، والمناطق البعيدة، تساعد فى إمداد الطاقة الكهربية للمناطق البعيدة .<br>٣ – توفير الطاقة للمجتمعات الريفية .<br>٤ – لا يوجد تلوث أثناء توليد الطاقة.<br>٥ – ذات تفضيل من الناحية الاقتصادية. | ١ – لها طاقة كثافة منخفضة، مفضلة فى الأماكن الجغرافية بعيدا عن المدن وعن الغابات .<br>٢ – متغيرة، غير مستقرة، منقطعة، مزعجة، أحيانا خطيرة .<br>٣ – ثبت أن تصميم تربين الريح وتصنيعه وإنشاءه إجراء معقد ذلك بسبب التغيرات الكبيرة فى الظروف الجوية التى يمكن أن تعمل فيها.<br>٤ – الوحدات الصغيرة أكثر اعتمادا عليها ولكن تكلفتها الأولية عالية لكل كيلوات. الوحدات الكبيرة تحتاج إلى تقنية عالية حتى فى حالة انخفاض التكلفة الرأسمالية لكل كيلوات.<br>٥ – تحتاج إلى بطاريات تخزين والتى تساهم بطريقة غير مباشرة بتلوث شديد للبيئة .<br>٦ – يمكن وضع مزارع الرياح فى مساحات كبيرة ومفتوحة فقط حيث الأماكن المفضلة للرياح. هذه الأماكن تكون عموما بعيدة عن مراكز التحميل لمتطلبات الطاقة. |

**٤ - تصميم طاحونة الهواء (Wind Mills)**

لا توجد تجهيزة جيدة التصميم يمكنها استخلاص كل طاقة الرياح ذلك لأن دافعات (Propellers) طاحونة الهواء تقاوم حركة الرياح، وهذا سوف يمنع مرور الكثير من الهواء خلال الدوار (Rotor) كلما أمكن نظريا على أساس سرعة الريح. فى أحسن الأحوال فإن الدوار يبطئ كل عامود الهواء الأفقى المتقاطع إلى حوالى الثلث لسرعته الحرة. المولد الهوائى ذو كفاءة ١٠٠٪ لذلك فهو قادر على تحويل إلى أقصى حوالى ٦٠٪ من الطاقة المتاحة فى الريح إلى طاقة ميكانيكية. الريش ذات التصميم الجيد يمكنها استخلاص ٧٠٪ من أقصى النظرى، ولكن الفقد فى صندوق التروس، نظام النقل والمولد والطلمبة يمكن أن تقلل الكفاءة الكلية لتربين الريح إلى حوالى ٣٥٪ أو أقل. نحن نعرف أن القوة (Power) تساوى الطاقة (Energy) فى وحدة الزمن. الطاقة المتاحة هى الطاقة الحركية للرياح. الطاقة الحركية لأى جسم تساوى نصف كتلته مضروبا فى مربع سرعته أو = $\frac{1}{2} m V^2$ . كمية الهواء المار فى وحدة الزمن، خلال مساحة A، بسرعة V هى = A V، وكتلته m تساوى حجمه مضروبا فى كثافة الهواء أو

$$m = PAV \quad (١)$$

(m هى كتلة الهواء التى تعبر المساحة A واكتسحت بواسطة الأذرع الدوارة (Rotating Blades) للمولد من نوع الطاحونة الهوائية.

استبدال هذه القيمة للكتلة فى تقدير الطاقة الحركية، فإننا نحصل على

$$\text{الطاقة الحركية} = \frac{1}{2} P A V. V^2$$

$$(٢) \quad = \frac{1}{2} P A V^3 \quad \text{وات}$$

المعادلة (٢) تخبرنا أن أقصى طاقة رياح متاحة – الكمية الحقيقية سوف تكون أقل قليلا ذلك لأنه ليست كل الطاقة المتاحة يتم استخلاصها – وتتناسب مع مكعب سرعة الرياح. كذلك فإنه يكون واضحا أن الزيادة القليلة فى سرعة الرياح يمكن أن يكون لها تأثير ملحوظ على قوة الرياح.

كذلك فإن المعادلة (٢) تخبرنا أن القوة المتاحة تتناسب مع كثافة الهواء (١,٢٢٥ كجرام / سم$^٢$) عند مستوى سطح البحر. يمكن أن تتغير ١٠ – ١٥٪ خلال العام بسبب التغير فى الضغط ودرجة الحرارة. تغيراتها قليلة جدا مع المحتوى من الماء.

المعادلة تدلنا كذلك أن قوة الريح تتناسب مع مساحة التقاطع (Intercept Area) ؛ لذلك، فإن المحرك الهوائى (Aeroturbine) ذو مساحة تقاطع كبيرة له قوة أكبر مقارنة بالمحرك ذو المساحة الأصغر، ولكن توجد تطبيقات مضافة. نظرا لأن المساحة هى عادة ذات قطر مستدير D فى المحركات الهوائية ذات المحور الأفقى.

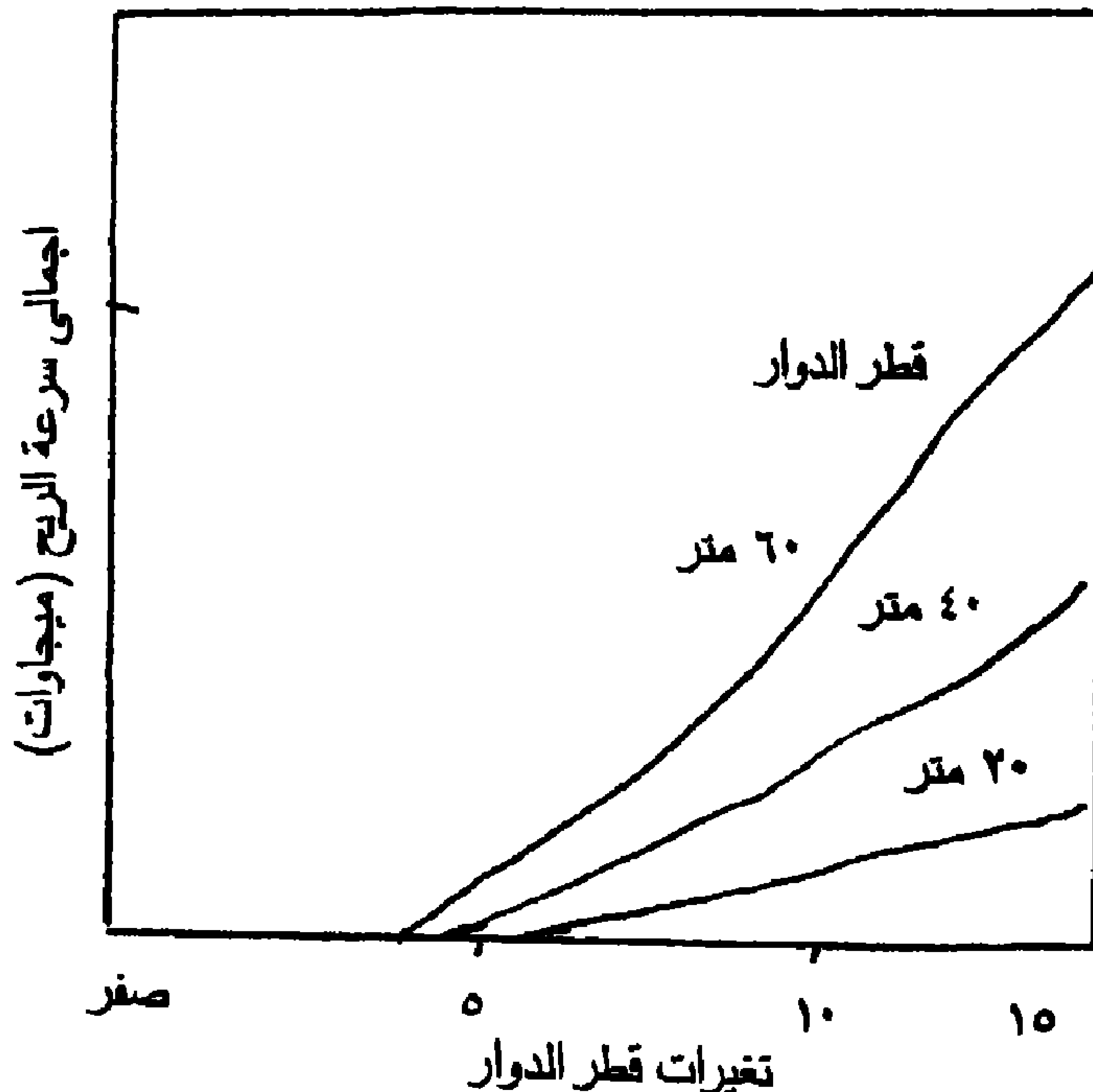
عندئذ

$A = \frac{\pi}{4} D^2$ سم ٢، والتى عند وضعها فى المعادلة (٢) تعطى

قوة الريح المتاحة $P = \frac{1}{2} P A^2 v^2$ وات

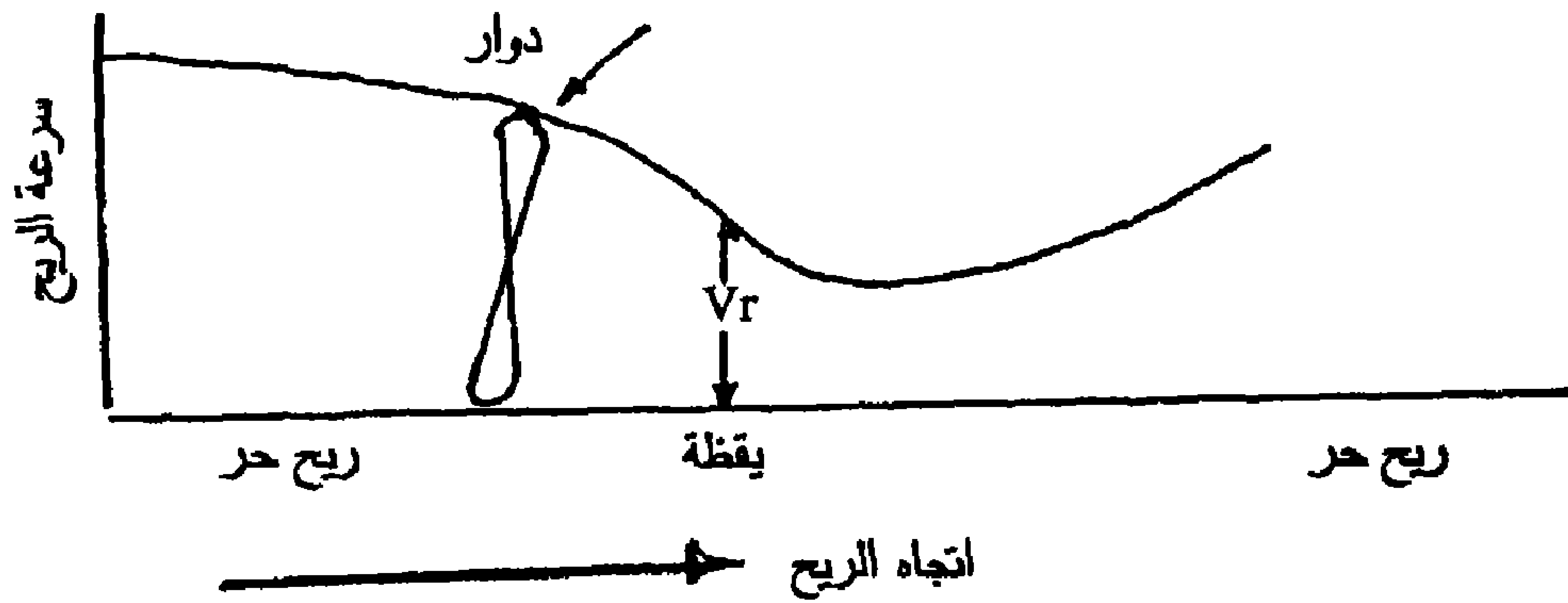
$$= \frac{\pi}{8} P D^2 V^3 \qquad (٣)$$

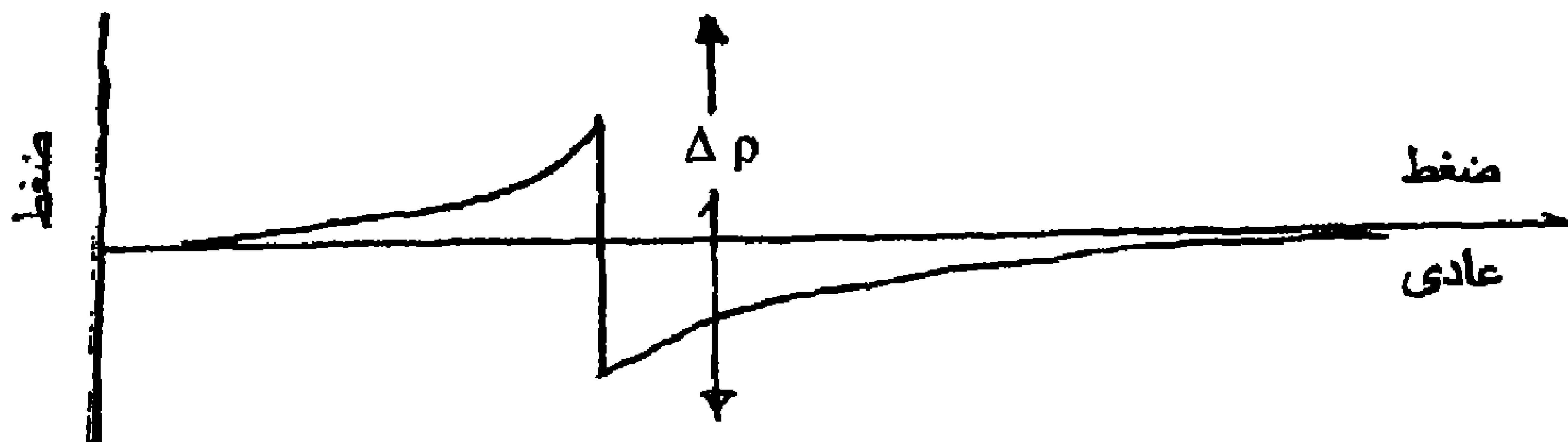
المعادلة (٣) توضح أن أقصى قوة متاحة من الريح تختلف طبقا لمربع قطر مساحة التقاطع (أو مربع قطر الدوار - Rotor)، والذى عادة يقدر بمساحة الاكتساح للمحرك الهوائى. لذلك فإن مضاعفة قطر الدوار سينتج عنه زيادة أربعة أضعاف فى قوة الرياح المتاحة المعادلة (٣) توفر لنا التبصر نحو السبب فى استخدام مصمم المحرك الهوائى للاستخدام الكهربى للرياح نحو أهمية التأكيد على قطر التربين. التأثير المشترك لسرعة الرياح وتغيرات قطر الدوار موضح فى الشكل (١١/٢)




شكل (١١/٢) : تتوقف قوة دوار الريح على سرعة الريح وقطر الدوار

محركات الرياح المستخدمة لتوليد كميات كبيرة من القوة يجب أن يكون لها دوارات (Rotors) ضخمة وأن توضع فى مساحات ذات سرعة رياح عالية. عندما يكون مناسبا قوة منخفضة أو متوسطة، فإن هذه الاشتراطات يمكن تخفيفها. الظروف الطبيعية فى تربين الرياح هو أن جزءا فقط من الريح المتاح يمكن تحويله إلى قوة مفيدة؛ نظرا لأن تيار الريح الحر يلتقى ويمر خلال الدوار، فإن الريح ينقل بعضا من قوته إلى الدوار وتقل سرعته إلى أدناها فى إيقاظ الدوار. وبالتالى، يستعيد تيار الهواء اكتساب الطاقة من الهواء المحيط وعلى مسافة كافية من الدوار، سرعة الريح الحرة يتم استعادتها شكل (١١/٣) المنحنى العلوى.




**شكل (١١/٣) : حالات عبور دوار الريح**

يقل أولا مع اقتراب الريح من الدوار ثم يقل بشدة بمقدار Δ P مع مروره خلاله وانتقال الطاقة إلى الدوار. أخيرا يزداد الضغط إلى الضغط الجوى العادى.

الطاقة المستخلصة بواسطة الدوار تساوى مجموع سرعة الريح مع مروره خلال الدوار (أى $V_r$ فى الشكل (١١/٣)) والهبوط فى الضغط $\Delta P$. بهدف تعظيم قوة الدوار فإنه يكون عندئذ المطلوبة ليكون كل من سرعة الريح والهبوط فى الضغط من الضخامة ما أمكن كذلك. ولكن ، نظرا لأن V تزداد لقيمة معطاة لسرعة الريح الحرة (وكثافة الهواء)، $\Delta P$ تزداد أولا ، وتمر خلال الأقصى، ثم عندئذ تنخفض؛ لذلك، بالنسبة لسرعة رياح حرة موصفه، توجد قيمة قصوى لقوة الدوار. الجزء من قوة الريح حر السريان يمكن استخلاصها بالدوار تسمى معامل القوة (Power Coefficient)؛ لذلك :

معامل القوة = قوة دوار الريح (Wind Rotor) / القوة المتاحة فى الريح

حيث يتم حساب القوة المتاحة من كثافة الهواء، قطر الدوار، سرعة الريح الحرة كما سبق توضيحه. معامل أقصى قوة نظرية يساوى ١٦ / ٢٧ أو ٠,٥٩٣ . هذه القيمة لا يمكن زيادتها فى حالات معينة، كما سيتم توضيحه لاحقا.

الدوار المثالى، ذو الريش من نوع الدافع (Propeller Type Blades) بالتصميم الديناميكى الهوائى (Aerodynamic) الجيد، يجب أن يكون له معامل قوة قريبا من ٠,٥٩ . ولكن مثل هذا الدوار يجب ألا يكون قويا لتحمل الإجهادات التى يتعرض لها عند الدوران بمعدل عال فى تيار الريح عالى السرعة. لأفضل الدوارات العملية، يكون معامل القوة حوالى ٠,٤ إلى ٠,٤٥ ، بحيث إن الدوار لا يمكنه استخدام أكثر من ٤٠ إلى ٤٥٪ من قوة الريح المتاحة. عند التحويل إلى الطاقة الكهربية، يكون معامل المولد الكهربى الهوائى (Aerogenerator) عمليا حوالى ٠,٣٥ (٣٥٪) .

عودة إلى المعادلة (٢)، ولكن مع معرفة أن V فى الحقيقة ليست ثابتة ولكن تمثل بواسطة منحنى سرعة الريح الإستاتيكية مع الوقت، ($V_T$) عندئذ فإن القوة اللحظية فى الريح تكون :

$$P a (t) = \frac{1}{2} P A \left[V_{(t)}\right]^3 \text{ Watt} \qquad (٤)$$

نظرا لأننا أكثر اهتماما بمتوسط القوة، فإنه يجب أخذ متوسط كلا جانبى المعادلة كالآتى

$$\overline{P a (t)} = \frac{1}{2} P A \left[\overline{V_{(t)}}\right]^3 \text{ Watt} \qquad (٥)$$

المعادلة (٥) تخبرنا أنه فى حالة عدم استقرار الريح (Non - Steady State)، يكون من الضرورى تكعيب سرعة الريح المقاسة، ثم يؤخذ المتوسط لإيجاد متوسط قوة الريح المتاحة. يكون من الواضح فى الحال أن حالة عدم الاستقرار تلك أكثر تعقيدا عن حالة عدم الاستقرار البسيطة، وأنه لذلك بالنسبة للحالة الأولى يتم التأكيد الشديد على بيانات مقياس سرعة الرياح Anemometryp - Data – عند موقع مقترح لنظام تحويل طاقة الريح.

تحويل المعادلة (٥) ينتج عنه

$$\frac{\overline{P a (t)}}{A} = \frac{1}{2} P \left[V_{(T)}\right]^3 \text{ Watt} / m^2$$

وهذا يعنى أن متوسط قوة الريح المتاحة على وحدة المساحة ترتبط مباشرة بمكعب متوسط سرعة الريح. هذه واحدة من الطرق المفيدة لتوصيف القوة الكامنة المعينه فى الريح على مساحة جغرافية.

توجد مميزات واضحة نحو اختيار المواقع بمتوسط سرعات الرياح كل عام وبناء مولدات الريح الكبيرة بدلا من الصغيرة ذلك لأن :

أ – القوة المتاحة فى الريح تزداد مع مكعب سرعة الريح : مضاعفة سرعة الريح تزيد القوة المتاحة ثمانى مرات.

ب– مضاعفة قطر تربين الدوار (Turbine's Rotor) يجعل المساحة المكتسحة أربعة أضعاف وكذلك تخرج الطاقة من التجهيزة (هذا القانون يطبق فقط للآلات ذات المحرك الأفقى، بالنسبة للآلات ذات المحور الرأسى التغير فى خروج القوة مع القطر يتم تحديده بواسطة الشكل الهندسى للدوار (Geometry Of The Rotor).

## ٥ - موجز لنظم الطاقة الكهربية بالرياح :

نظم الطاقة الكهربية بالرياح يمكن تقسيمها إلى الاستخدامات والتصنيف التالى :

١ – نظام الطاقة الكهربية بالرياح المتصل بالشبكة بدون الحاجة إلى نظم تخزين الطاقة.

٢ – نظم الطاقة الكهربية بالرياح المعزولة والتى تحتاج إلى تجهيزات لتخزين الطاقة .

٣ – طاقة كهربية أو ميكانيكية بالرياح ذات النظم غير الحرجة حيث لا تحتاج إلى تجهيزات تخزين.

٤ – كهرباء الرياح + كهرباء الديزل المختلط أو كهرباء الريح، كهرباء الطاقة الشمسية، مختلط مع البطارية.

للاستخدامات البعيدة، المزارع، ترشيد الطاقة، الحالات غير التقليدية. هذا الجدول الآتى موجز لها :

جدول (١١/٢) نظم الطاقة الكهربية بالرياح :

| الاستخدام | المجال | تخزين الطاقة | ملاحظات |
|---|---|---|---|
| ١ | ٢ | ٣ | ٤ |
| ١ – نظام توليد الكهرباء بالرياح المتصلة بالشبكة. | * مزارع الرياح : ٠,٥ ميجاوات إلى ٢ ميجاوات. * وحدات ذات مجال كبير ١ ميجاوات، ٢ ميجاوات، ٣ ميجاوات، ٤ ميجاوات | * غير ضرورى. * إمداد الشبكة يعمل كاحتياطى. | * ترشيد الطاقة هو الهدف الرئيسى. * تعمل بالتوافق مع الشبكة. * الاحتمال الاقتصادى للوحدات الكبيرة التى تعمل مع الأحمال الكبيرة. |

| ١ | ٢ | ٣ | ٤ |
|---|---|---|---|
| ٢ – نظام طاقة الرياح المستقل. | وحدة التوليد بتربين الرياح ٥ كيلوات، إلى ٧٥٠ كيلوات. | بطاريات تخزين يتم شحنها فى حالة الريح المناسب. | اختيار اقتصادى للمستهلكين المقيمين فى أماكن بعيدة عن شبكة الإمداد بالكهرباء. |
| ٣ – نظام طاقة كهربية الريح غير حرج ريح ميكانيكى. | ٥ كيلوات إلى ٢٥٠ كيلوات . | غير ضرورى. | * ضخ المياه.<br>* طحن الحبوب.<br>* التدفئة الكهربية.<br>* مزرعة الإمداد بالطاقة. |
| ٤ – خليط ما بين طاقة كهربية من الرياح ومن الديزل. | من ٥ كيلوات إلى ٢ ميجاوات. | * غير ضرورى.<br>* البطاريات المتوفرة لامداد الطاقة الغير مضطربة. | * خلال الرياح المناسبة، توفر مولدات تربين الريح الطاقة الكهربية.<br>* خلال الرياح غير المناسبة، يتم توفير الطاقة من البطاريات. |
| ٥ – الطاقة الكهربية المختلطة من الطاقة الهوائية والشمسية . | ٣٥٠ كيلوات إلى ٧٥٠ كيلوات. | بطاريات تخزين. | للمناطق المنعزلة البعيدة حيث محطة الطاقة بعيدة عن الشبكة. |

## ٦ - اختيار موقع مزرعة الرياح (Wind Farm Siting)

بالنسبة لتعيين مكان مزرعة الرياح، يتم عمل دراسة الموقع مقدما فى عدد من الأماكن الممكنة. من مثل هذه الدراسة التى تتم فى أماكن حيث متوسط سرعة الرياح المتوسطة لا تقل عن ٧ م فى الثانية، حيث يتم اختيار عدد من المواقع (مثال، ٤٤٠٠ موقع على طول الساحل الغربى). تلك المواقع عادة تنقسم إلى الأنواع الآتية :

* على الشاطئ On - Shore.

* فى الماء الضحلة قريبا من الشاطئ.

يفضل المواقع التى على الشاطئ. المواقع فى الماء تكون فى قاع البحر الضحل يتم اختيارها بواسطة دول مثل الدانمارك، المملكة المتحدة، السويد ... إلخ. ذلك لأن تلك المواقع توفر ظروف رياح أفضل .

التكاليف الرأسمالية والتكاليف الجارية تكون مرتفعة نسبيا. متوسط سرعة الريح العالى يكون ضروريا لتكون مزرعة الرياح اقتصادية. قوة التربين تتناسب مع ($V^3$). متوسط سرعة الريح ٨ م فى الثانية هو الرقم المستخدم عموما كمقياس معيارى لاختيار الموقع الاقتصادى.

١ – متوسط سرعة الرياح المناسبة والمنتظمة خلال العام. عدم وجود دوامات، فيضانات، عدم وجود صواعق تفريغ برقى.

٢ – توفر الأراضى الفضاء الخالية من الغابات ... إلخ.

٣ – توفر إمكانيات توزيع متصلة بالشبكة خلال مسافة صغيرة (أقل من ١٠ كيلومتر) .

٤ – الأرض والتربة مناسبة لإنشاء تربين الرياح، التحرك لبرج الونش ... إلخ.

٥ – طرق اقتراب لتحرك وإقامة المعدّة وتربين الريح.

٦ – التوافق البيئى .

**٧ - أحجام تربين الرياح : (Wind Turbine Sizes)**

**يمكن تقسيم معدات الرياح لتوليد الكهرباء إلى ثلاثة أنواع :**

**النوع الأول:** يشمل محولات صغيرة والتى لها متوسط خرج حوالى واحد كيلوات (1KWe) ويمكن استخدامها فى توليد الكهرباء لتشغيل وحدات رى صغيرة، أو الإضاءة المنزلية.

**النوع الثانى:** له متوسط خرج ٥٠ كيلوات (50 KWe) أو أكثر وله تطبيقات فى قرى الدول النامية، المزارع، الصناعات الريفية، والمنازل المنعزلة. وهذه تشمل طاقة للتدفئة المنزلية، تسخين المياه، ضخ مياه الرى.

**النوع الثالث:** وله متوسط خرج يتراوح ما بين ٥٠٠ كيلوات (500 KWe) إلى العديد من الميجاوات، وهو يوفر الطاقة لشبكة الطاقة الكهربية. فى الأماكن حيث توجد شبكات الكهرباء (الشبكات يتم تغذيتها حاليا إما بالوقود الأحفورى أو بالطاقة النووية)، طاقة الريح يمكن أن تحقق من ٢٠ إلى ٢٥ ٪ من احتياجات الكهرباء. وهذا يعادل حوالى ٢٠٠٠ تيراوات ساعة سنويا أو حوالى ١٥ ٪ من الاستخدام العالمى الحالى للكهرباء. الجمع بين طاقة الرياح والطاقة المائية (Wind Hydro Combina-tion) يمكن أن ينتج ١٢٠٠ تيراوات ساعة إضافية من مصادر طاقة الرياح. وهذا مع افتراض نظام التخزين بالضخ عند مواقع الرياح الأولية، مثل شواطئ البحار، السهول الكبيرة، الممرات أو الحواف الجبلية. ولكن، إمكانية إنتاج الطاقة الكهربية بواسطة الرياح كبيرة جدا. ذلك لأن الوقود الأحفورى أصبح مكلفا وفى طريقه إلى النضوب، وفى حالة عدم الرغبة فى الطاقة النووية فإن طاقة الرياح يمكنها توليد جزء كبير من احتياجات العالم من الكهرباء.

**٨ - توافر المصدر فى الدول العربية :**

أحد الشروط الهامة لاستغلال طاقة الرياح هو التعرف على خواص الرياح فى المنطقة المراد تعميرها. فالتغير فى سرعة الرياح مع الزمن من الثوانى إلى السنين مهم جدا لتصميم وتشغيل أجهزة تحويل طاقة الرياح. واختيار طرق وأجهزة القياس المناسبة لهذه المقاييس الزمنية مهم جدا. كما أن تأثير السمات السطحية للموقع على المحصول الطاقى من المروحة الهوائية يجعل اختيار موقع تركيبها له عظيم الأثر على اقتصاديات المشروع ككل. ويبين الجدول التالى بعض المواقع العربية التى تنتظر فيها

طاقة الرياح مستقبلا جيدا. ولقد حسبت سرعة الرياح المؤثرة بأنها السرعة التى تهب بها الرياح ٨٧٦٠ ساعة فى السنة وتنتج نفس كمية الطاقة لوحدة المساحات الناتجة عن الرياح الفعلية فى الموقع، بافتراض أن قدرة الريح المستخلص نظريا يساوى فقط ٠,٥٩ من قدرة الريح الكلية. وأن مردود التحويل لمروحة الهواء حوالى ٧٠٪ أى أن معامل القدرة يساوى ٠,٤١ . ويتضمن الجدول الآتى سرعات الرياح المؤثرة ومتوسط كثافة القدرة المتاحة والمستخلصة للمتر المربع من المساحة المكتسحة.

**جدول (١١/٣) : مواقع عربية ينتظر لطاقة الرياح فيها مستقبل واعد**

| الدولة | الموقع | خط العرض (N) درجة | خط الطول (E) درجة | سرعة الريح المؤثرة متر/ثانية | متوسط كثافة القدرة (وات / المتر المربع) | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | المتاحة | المستخلصة |
| ١ | ٢ | ٣ | ٤ | ٥ | ٦ | ٧ |
| البحرين | محرق | ١٦/ ٢٦° | ١٧ ٥٠° | ٦,١٢ | ١٤١ | ٥٩ |
| مصر | السلوم | ٣٢/ ٣١° | ١١ ٢٥° | ٦,١٦ | ١٤٤ | ٦٠ |
| | الإسكندرية | ١٢/ ٣١° | ٥٧ ٢٩° | ٥,٤٩ | ١٠٢ | ٤٢ |
| | الغردقة | ٤٦/ ٣٣° | ١٧ ٢٧° | ٦,٥٩ | ١٧٧ | ٧٤ |
| الكويت | الأحمدى | ٤ ٢٩° | ١٠/ ٤٨° | ٦,٥ | ١٧٠ | ٧٠ |
| لبنان | البقاع | ٥٥/ ٣٣° | ٤/ ٣٦° | ٤,٩٣ | ٧٥ | ٣١ |
| المغرب | الرباط | ٥٢/ ٣٣° | ٤٨ ٦° W° | ٤,٧٥ | ٦٥ | ٢٧ |
| | طنجة | ٤٥ ٣٥° | ٤٢ ٦° | ٨,٤٠ | ٣٦١ | ١٥١ |
| | الدار البيضاء | ٣٤ ٣٣° | ٢٨/ ٧° | ٣,٩ | ٣٦ | ١٥ |
| قطر | الدوحة | ١٧/ ٢٥° | ٣٤/ ٥١° | ٥,٣٤ | ٩٣ | ٣٩ |
| | رأس راكان | ٨ / ٢٦° | ١٢/ ٥١° | ٧,٢٦ | ٢٣٦ | ٩٨ |
| | جزيرة هلول | ٤٠ ٢٥° | ٢٤/ ٥٢° | ٦,٩٨ | ٢٠٩ | ٨٧ |
| المملكة العربية | الظهران | ١٦/ ٢٦° | ١٠ ٥٠° | ٦,٤٩ | ١٧٠ | ٧٠ |
| السعودية | رأس تانورا | ٢٤/ ٢٦° | ٥/ ٥٠° | ٥,٠٨ | ٨٠ | ٣٠ |
| | الطائف | ٢٩/ ٢١° | ٣٢/ ٤٠° | ٥,١٩ | ٨٧ | ٣٦ |

| ١ | ٢ | ٣ | ٤ | ٥ | ٦ | ٧ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | ينبع | ٢٤° ٧/ | ٣٨° ٣/ | ٥,٨٤ | ١٢٣ | ٥١ |
| | جدة | ٢١° ٣٠/ | ٣٩° ١٢/ | ٤,٨٦ | ٧٠ | ٢٩ |
| تونس | تونس | ٣٦° ٤٧/ | ١٠° ١١/ | ٦,٦٠ | ١٧٥ | ٧٣ |
| | بنزرت | ٣٧° ١٦/ | ٩° ٥٢/ | ٦,١٤ | ١٤١ | ٥٩ |
| الإمارات | جزيرة داس | ٢٥° ١٩ | ٥٢° ٣٥/ | ٥,٦٠ | ١٠٨ | ٤٥ |
| العربية المتحدة | جبل ظاظنا | ٢٤° ١١/ | ٥٢° ٣٧/ | ٥,٣٤ | ٩٤ | ٣٩ |
| | شرجاح | ٢٥° ٢١/ | ٥٥° ٢٣/ | ٥,٣١ | ٩٢ | ٣٨ |

**٩ - أنواع طواحين الهواء وكفاءتها :**

الطاحونة الهوائية هى معدة لتحويل طاقة الرياح. تربين الرياح يحول الطاقة الحركية لحركة الرياح إلى طاقة ميكانيكية تنقل بواسطة عامود إدارة. بعد ذلك المولد يحولها إلى طاقة كهربية، حيث يتم توليد الكهرباء.

تنقسم طواحين الهواء إلى قسمين : ذات المحور الأفقى، ذات المحور الرأسى وذلك طبقا لدوران المحور.

هناك من يفضل الإشارة لها كدوارات محور الريح (Wind Axis Rotors) أو تقاطع دوارات محور الريح (Cross Wind Axis Rotors) على التوالى. فى الأنواع الأولى، تكون الدوارات موجهة نحو اتجاه الريح، بينما فى الأنواع الثانية فإن السطح المؤثر للدوار يتحرك فى نفس الاتجاه مثل الريح. طواحين الهواء ذات المحور الأفقى تنقسم كذلك إلى ذات الريش الفردية (Single Blades) أو المزدوجة، أو متعددة الريش أو نوع الدراجة الهوائية متعددة الريش، أو الشراع (Sail)، الجناح (Wing)، عديد الريش هى مثال للماكينات الهوائية ذات المحور الأفقى.

**طواحين الهواء ذات المحور الرأسى تنقسم كذلك إلى نوعين رئيسيين وهما :**

(١) نوع الدوار (S) (S Rotor) أو (Savonius) حيث سرعة الريح منخفضة.

(٢) نوع الدوار (Darrieus) (الريح عالى السرعة)، مبنى على أساس سرعة التشغيل للمعدة ومجالات السرعة المطلوبة بواسطة المعدة للعمل.

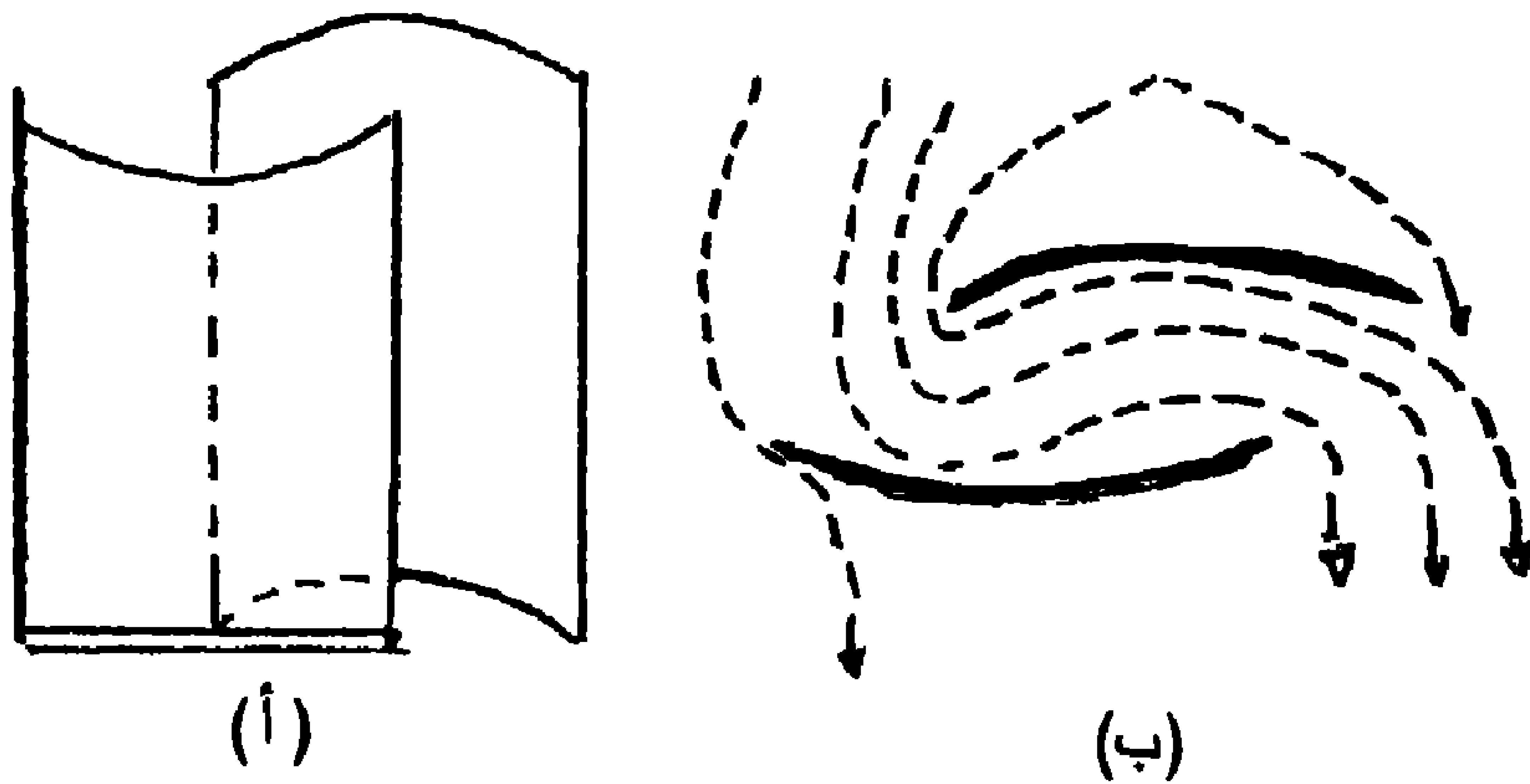
ماكينات المحور الرأسى هى ذات تصميم بسيط مقارنة بذات المحور الأفقى.

## طواحين الهواء ذات المحور الرأسى (Vertical Axis Type Wind Mills)

### ١ - دوار سافونويس : (Savonius Rotor)

ربما يكون أبسط الأنواع الحديثة لتحويل طاقة الرياح هو دوار سافونويس والذى يعمل مثل فنجان جهاز قياسى سرعة الهواء (Cup Anemometer). هذا النوع اخترع فى عام ١٩٢٠ . أصبحت هذه التجهيزة محببة ذلك لأنها تحتاج إلى رياح ذات سرعة منخفضة لتعمل.

تفاصيل الإنشاء ومبدأ العمل : فهو يتكون من نصفين لأسطوانتين مواجهتين فى اتجاهات متعاكسة بطريقة كما لو كان لها شكل مقطع حرف S كما هو موضح فى الشكل (١١/٤)




شكل (١١/٤) : دوار سافونويس وتدفق التيار

هاتان الأسطوانتان شبها المستديرتين مركبتان على محور رأسى عمودى على اتجاه الريح مع فاصل عند المحور بين الأسطوانتين. بصرف النظر عن اتجاه الريح فإن الدوار يدور بحيث تعمل الأجناب المقعرة للقادوس المقدمة فى الريح. من عامود الدوار يمكن الحصول على القوة للاستخدام مثل ضخ المياه، شحن البطارية، غربلة الحبوب ... إلخ. ولكن بدلا من طرفين معا لعمل الشكل S، إنهما يتداخلان (Overlap) وهذا التداخل أو التراكب يمكن من وجود فضاء متسع بين الطرفين،

بحيث يكون كل من هذين الطرفين قريبا من المحور المركزى لنصف الأسطوانة المقابل، كما هو موضح فى الشكل.

فالأداء الرئيسى للريح بسيط جدا، قوة الريح تكون أكبر على الوجه المقعر مقارنة بالوجه المستدير. كما أن التوضيح التفصيلى معقد إلى حد ما. بينما الرياح المنحنية حول الجانب الخلفى للوجه المقعر تحدث ضغطا منخفضا، وهذا يساعد على تحريك الدوران. كما أن الفتحة المتسعة ما بين الطرفين الداخليين لنصفى الأسطوانتين، تمكن الهواء من أن يهب حول داخل الوجه المقعر المتحرك إلى الأمام ثم حول داخل الوجه المتحرك الارتجاعى (عكس الاتجاه)؛ لذلك يدفع كليهما فى اتجاه الدوران.

**مميزات وعيوب دوار سافونويس :**

نظام سافونويس، لتحويل الطاقة الهوائية له محور رأسى الذى يخفض من نظام انتقال الطاقة المكلف من الدوار (Rotor) إلى المحور (Axis). نظرا لكونه معدة ذات محور رأسى فإنه ليست هناك أهمية بالنسبة لاتجاه الريح. حيث تعمل المعدة حتى عند مجالات سرعة الريح المنخفضة.

ميزة أخرى لدوار سافونويس هو أداؤه فى السرعة المنخفضة (سرعة الريح المطلوبة لإدخال (Switching) القوى الكهربية فى الخط)، فهو ينتج قوة مؤثرة فى حالة الرياح المنخفضة حتى ٨ كيلومتر / الساعة، بينما معظم طواحين الهواء ذات النوع بالدافع (Propeller - Type) تحتاج إلى ١٦ كيلومتر/ الساعة، للعمل بكفاءة مع طواحين الهواء الضخمة. هذا يعنى أنها مفيدة فى معظم الأوقات ولذلك اعتمادها أقل على التخزين أو توفير الطاقة الإضافية.

عادة مع المعدات ذات المحور الرأسى، فإن دوار سافونويس له ميزة أن وزن المولد الكهربى يمكن أن يحمل على مستوى سطح الأرض بدون استخدام تروس مشطوفة (Bevel Gears). ولكن هذه ليست ميزة هامة.

العيوب الرئيسية هى أنه شديد الصلابة، لديه معدن كثير أو مادة سطحية أخرى مقارنة بكمية الهواء المتقاطع. وهذا لا يؤدى فقط إلى الوزن الزائد للمنشأ الكبير ولكن يترك المعدة تحت رحمة العواصف الشديدة حيث لا توجد طريقة لخفض المساحة المؤثرة.

ليس مفيدا للمنشأ الطويل جدا لأن مشاكل عامود الإدارة الطويل وكذلك دعامة أو رباط القمة لمعظم دعائم الارتكاز فوق الدوار ذى معدة ذات محور رأسى طويل جدا يكون غير مناسب، حيث يتطلب أسلاك شداد طويلة جدا. فى حالة معدة الرياح لتوليد الكهرباء باستخدام المحور الرأسى التقليدى مع مولد علوى، فإن قوة المنشأ المطلوبة لحمل الوزن المضاف للمولد تكون صغيرة مقارنة لتلك المطلوبة لتحمل عاصفة شديدة وحافظة المولد (Housing) تضيف قليلا إلى المساحة المعرضة للعاصفة.

**المساحات اللازمة : (Areas Of Concern)**

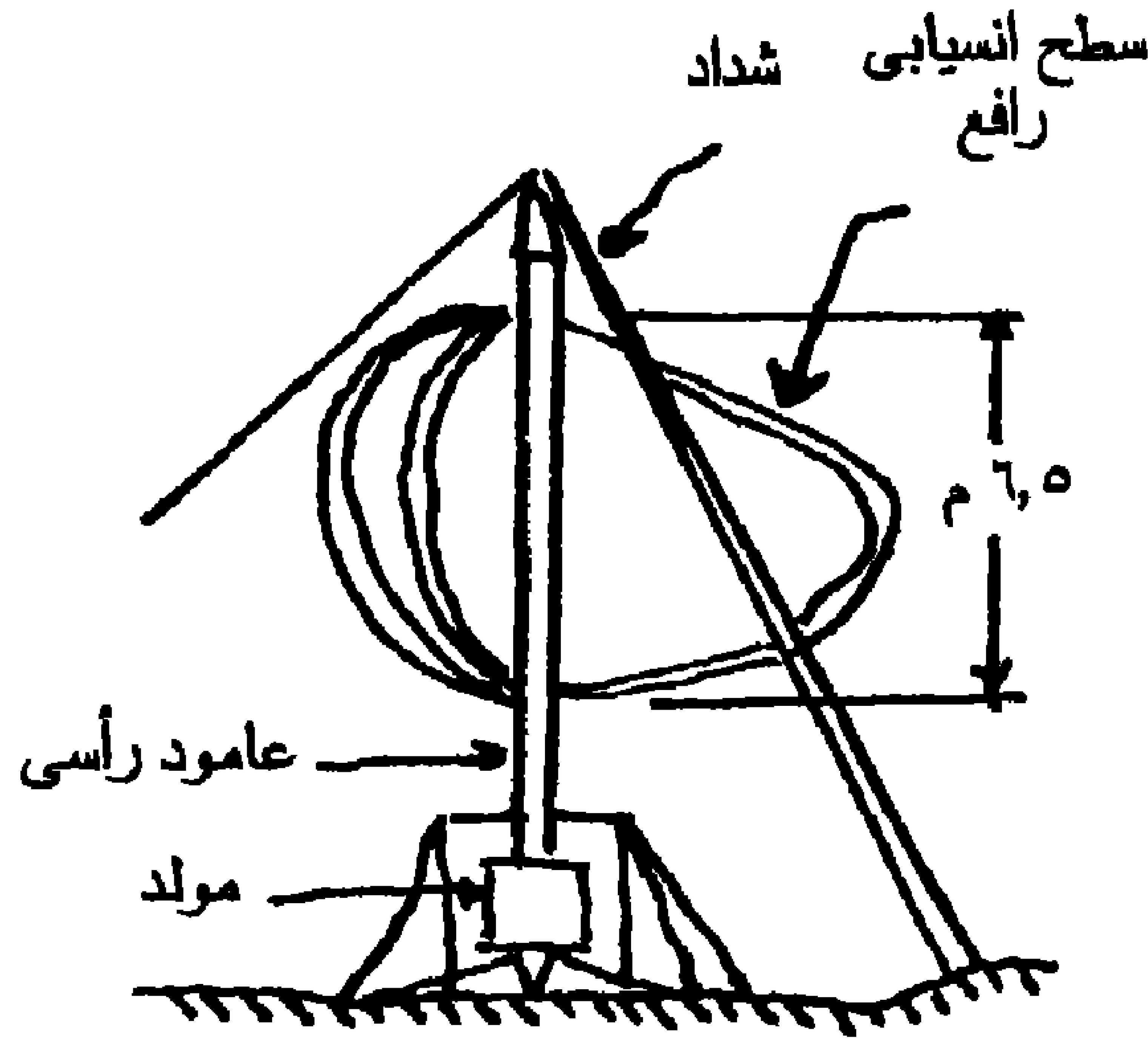
دوار سافونيوس له كفاءة جيدة إلى حد ما وخواص بداية مرضية، الخاصية الأخيرة لكونها هامة تحديدا فى الاستخدام مع الطلمبات موجبة الإزاحة. متطلبات مساحة الدوار للحصول على كمية الطاقة المطلوبة أعلا عن أى نظام آخر. وهو يستخدم عادة للضخ ولتشغيل ماكينات الاستخدام الزراعى الصغير مثل ماكينات غربلة الحبوب، وطحن الحبوب، ولإفزاع الطيور، وفى تذرية الحبوب (Blowers). الاستخدام الآخر لهذا النوع من نظام تحويل طاقة الرياح هو باستخدام هذه المعدة مع دوار داريوس (Darrieus Rotor) لأغراض البدء.

**٢ – ماكينة نوع داريوس (Darrieus) (الريح عالية السرعة) :**

هذه الماكينة اخترعت اصلا فى عام ١٩٢٥ بواسطة مهندس فرنسى حيث أخذ هذا الاختراع فى الاعتبار مرة أخرى. هذا النوع من طواحين الهواء استخدم فى كندا. كما لوحظ، طاحونة هواء حديثة من نوع الدافع سريع الدوران، باستخدام سطح انسياب رافع (Air Foil) ذى كفاءة، يقاطع بتأثير مساحة هواء كبيرة بمساحة ريش صغيرة. طاحونة الهواء داريوس هى ماكينة من نوع المحور الرأسى والتى لها نفس المميزات. الميزة الإضافية هى أنها تحمل الريش (Blades) بالطريقة التى تقلل جهود الثنى (Bending) فى الاستخدام العادى.

**تفاصيل الإنشاء ومبدأ العمل :**

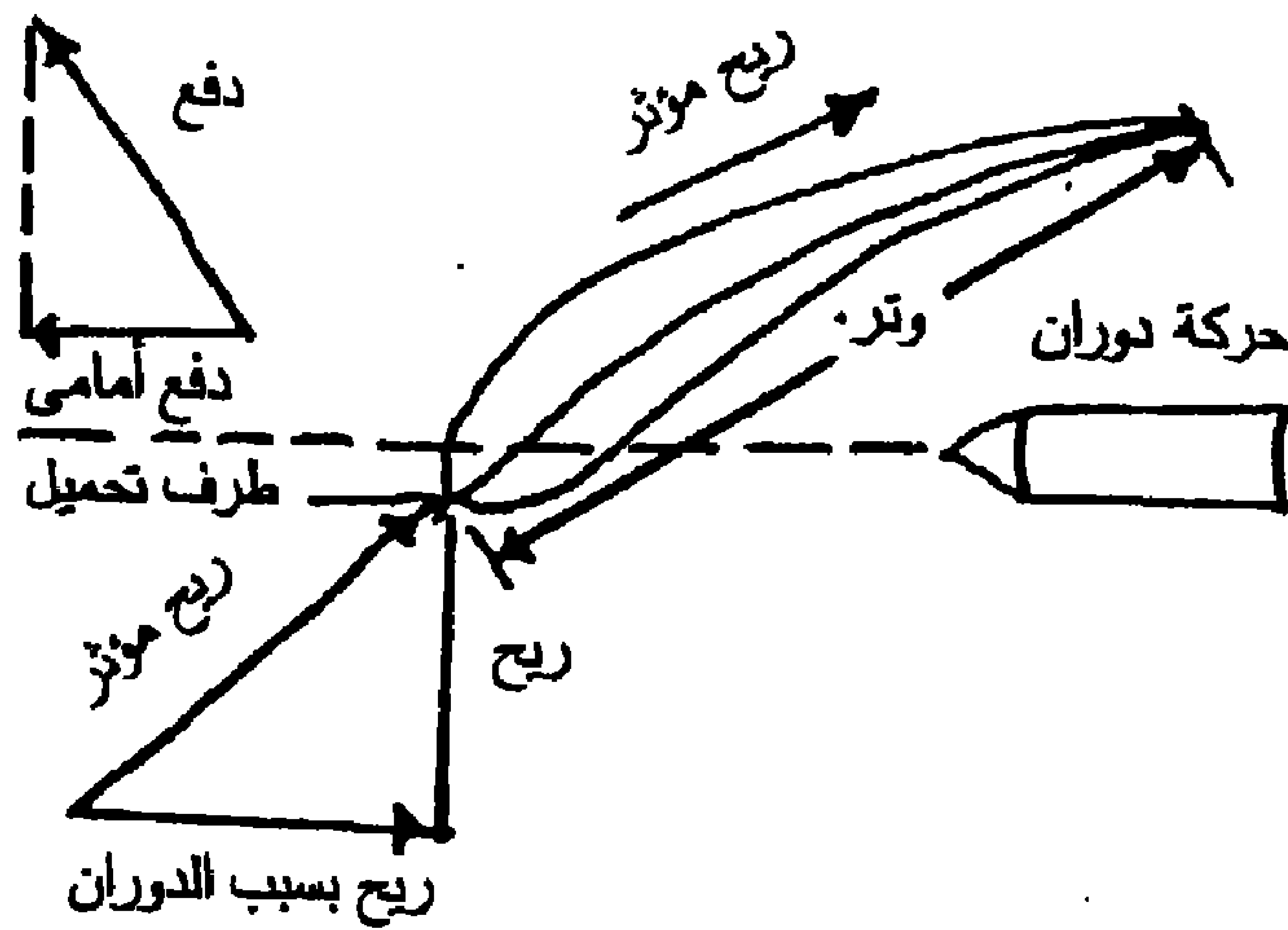
فى هذا النوع من الأجهزة، تكون الريش منحنية (Curves Blades) ومتصلة بمحاور (hubs) على عامود الادارة الرأسى على كلتا النهايتين لتكوين منشأ مثل القفص يذكر بمضرب البيض العادى شكل (١١/٥) الريش المنحنية لها شكل .




شكل (١١/٥) : طاحونة هواء بالمحور الرأسى

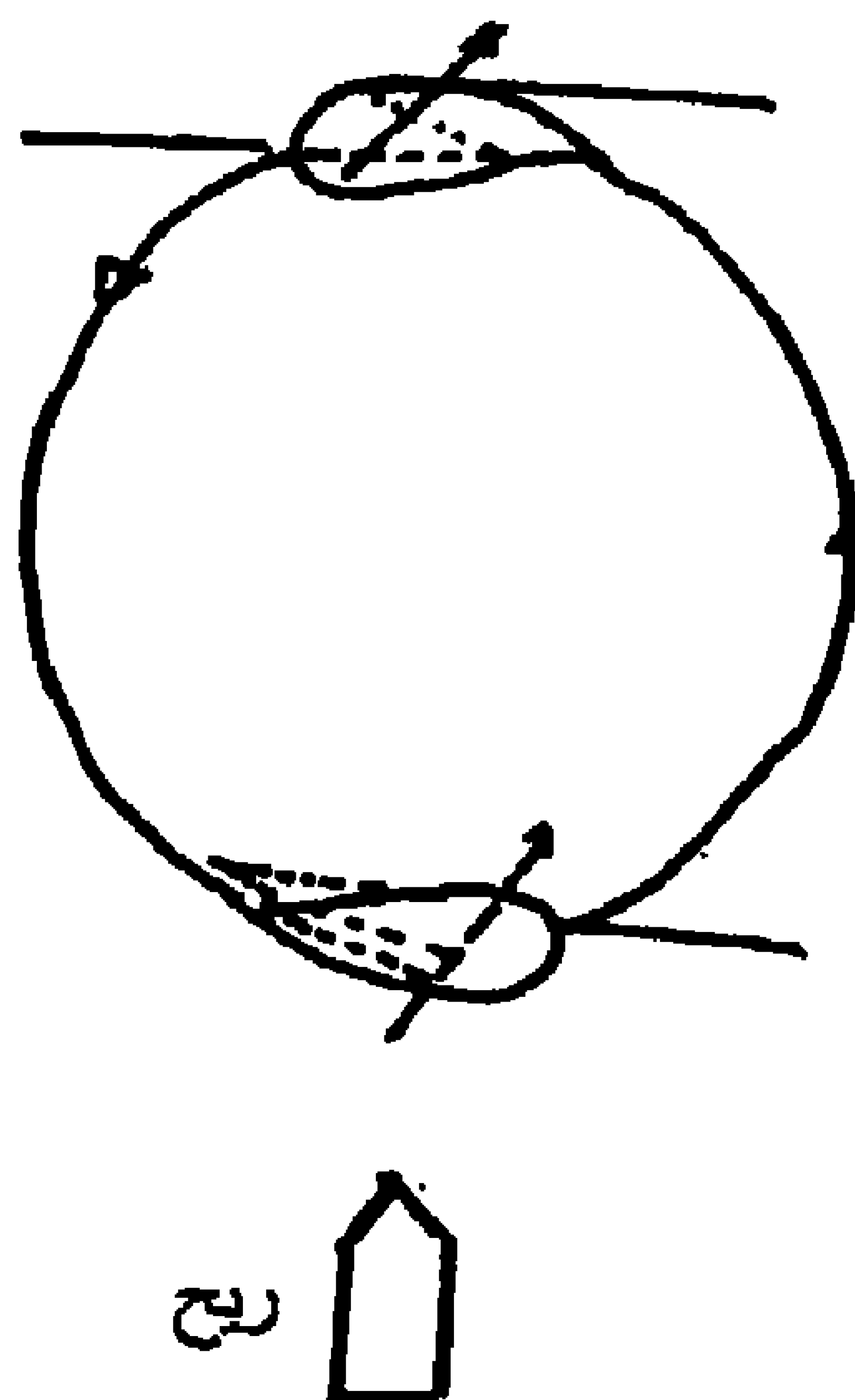
بحيث إن الحبل سوف يكون فى حال تعرضه إلى قوة طرد مركزى فى دوران سريع شىء ما مثل شكل الحبل فى رياضة نط الحبل (Skipping Rope). دوارات داريوس لها ثلاث ريش سطح انسيابى رافع (Aero Foil) متشابهة، كلتا النهايتين لكل متصل بعامود رأسى. لذلك القوة فى الريشة بسبب الدوران تكون شد صافى. هذا يوفر الصلابة للمساعدة فى مقاومة قوى الريح التى تلاقيها. لذلك فإن الريش يمكن أن تكون أخف من نوع الدافع (Propeller). ما يحدث فى عاصفة شديدة هو سؤال آخر سنجيب عليه عند الدوران، تلك الريش ذات السطح الانسيابى الرافع توفر عدم الدوران (Torque) حول عامود الادارة المركزى كرد فعل لتيار الهواء. هذا الدوران للعامود ينتقل إلى المولد عند قاعدة العامود المركزى لتوليد الكهرباء.

كما هو واضح فى الشكل (١١/٦) فإننا نرى أن القوة التى تدفع الريش للريح التقليدى سوف تأتى من وتر السطح الانسيابى الرافع (Cord Of The Air Foil)، لكونها مائلة بعيدا عن اتجاه الحركة، حتى إن الدفع الذى يكون غالبا بزاوية قائمة على السطح الانسيابى الرافع، يميل نحو الاتجاه الأمامى وله محصلة فى ذلك الاتجاه تعنون «الدفع الأمامى» (Forward Thrust).




**شكل (١١/٦) : ريشة طاحونة الهواء مثل السطح الانسيابى الرافع**

الشيء الملاحظ عن دوار داريوس هو أنه لا يمكنه اكتساب مميزات هذا الميل للسطح الانسيابى الرافع (Air Foil)، ولذلك يعمل بدونه، مع الوتر على طول المماس مباشرة نحو المسار الدائرى فى مقطع استوائى (Equatorial) الموضح فى الشكل (١١/٧) . فى حالة ميل الوتر بعيدا عن المماس بحيث يميل الدفع إلى الأمام حيث الريح يقابل السطح الانسيابى الرافع على الجانب المواجه للريح للدائرة، كما هو موضح بالخطوط. المهشرة فى الشكل ثم الجانب الآخر للدائرة، فإن الريح سوف يقابل الجانب الآخر لسطح الانسياب الرافع، والدفع سوف يميل فى اتجاه الخلف لتأخير الدوران.




**شكل (١١/٧) : توجيه الريش فى دوار داريوس**

**المميزات والعيوب :**

**مميزات هذا النظام هى :**

١ – الميزة الرئيسية لهذا التصميم هى أن ريش الدوار (Rotor Blades) يمكن أن تقبل الريح من أى نقطة للبوصلة.

٢ – الميزة الأخرى هى أن هذه الماكينة يمكن تحميلها على الأرض حيث لا تكون هناك حاجة لمنشآت برجية ورفع الوزن الثقيل لمكونات الماكينة أى أنه يمكن عملها قريبا من مستوى الأرض.

٣ – نظرا لأن تلك الماكينة لها محور رأسى متماثل، فإن ذلك يبعد متطلبات إحكام الانحراف عن الخط المستقيم للدوار لاقتناص طاقة الرياح. التعجيل فى حدوث أمرين: وهما حامل المحور البسيط نسبيا وكذلك خرج الطاقة عند مستوى سطح الأرض بسبب وجود عامود الإدارة الرأسى. وهذا بالتالى يمكن من سهولة الاقتراب والقدرة على الخدمة.

٤ – تكاليف تصنيع دوار السطح الانسيابى الرافع يتوقع أن تقل مقارنة بتكاليف ريش الدوار التقليدى.

٥ – عدم وجود متطلبات التحكم فى الميل أو الانحراف للعمل المتزامن يمكن أن يسبب خفضا إضافيا للتكلفة.

**عيوب هذا النظام :**

١ – رغم أن داريوس له كثير من الاتجاهات المتشابهة لاقتناص طاقة الرياح، فإنه يتطلب مساعدة ميكانيكية خارجية للبدء.

٢ – كفاءة خرج قوة الدوار لتحويل الطاقة الهوائية بواسطة نظام داريوس هى أقل قليلا عن تلك للدوار التقليدى الأفقى.

٣ – يسبب وضع دوار داريوس عموديا قريبا من الأرض، فإنه يمكن أن يقابل سرعة رياح أقل مقارنة بنظام التحويل لطاقة الرياح المركبة على البرج ذى مساحة قرص دوار. هذا يمكن أن ينتج طاقة أقل.

٤ – نظرا لأن دوار داريوس يقابل ظروف سريان شديدة التغير لكل دوران فإنه يحدث إجهادات اهتزاز أكبر والتى تؤثر على عمر الاستخدام للدوار. الكابل عالى الشد الذى يمسك بعامود البرج قد يحتاج إلى قاعدة ارتكاز مكلفة للتحميل.

٥ – أخيرا، نظرا لأن دوار داريوس لا يمكنه أن ينحرف عن الخط المستقيم خارج الريح أو الريش، فإنه يلزم استخدام نظام خاص لفرملة العزوم العالية.

## طواحين الهواء ذات المحور الأفقى :

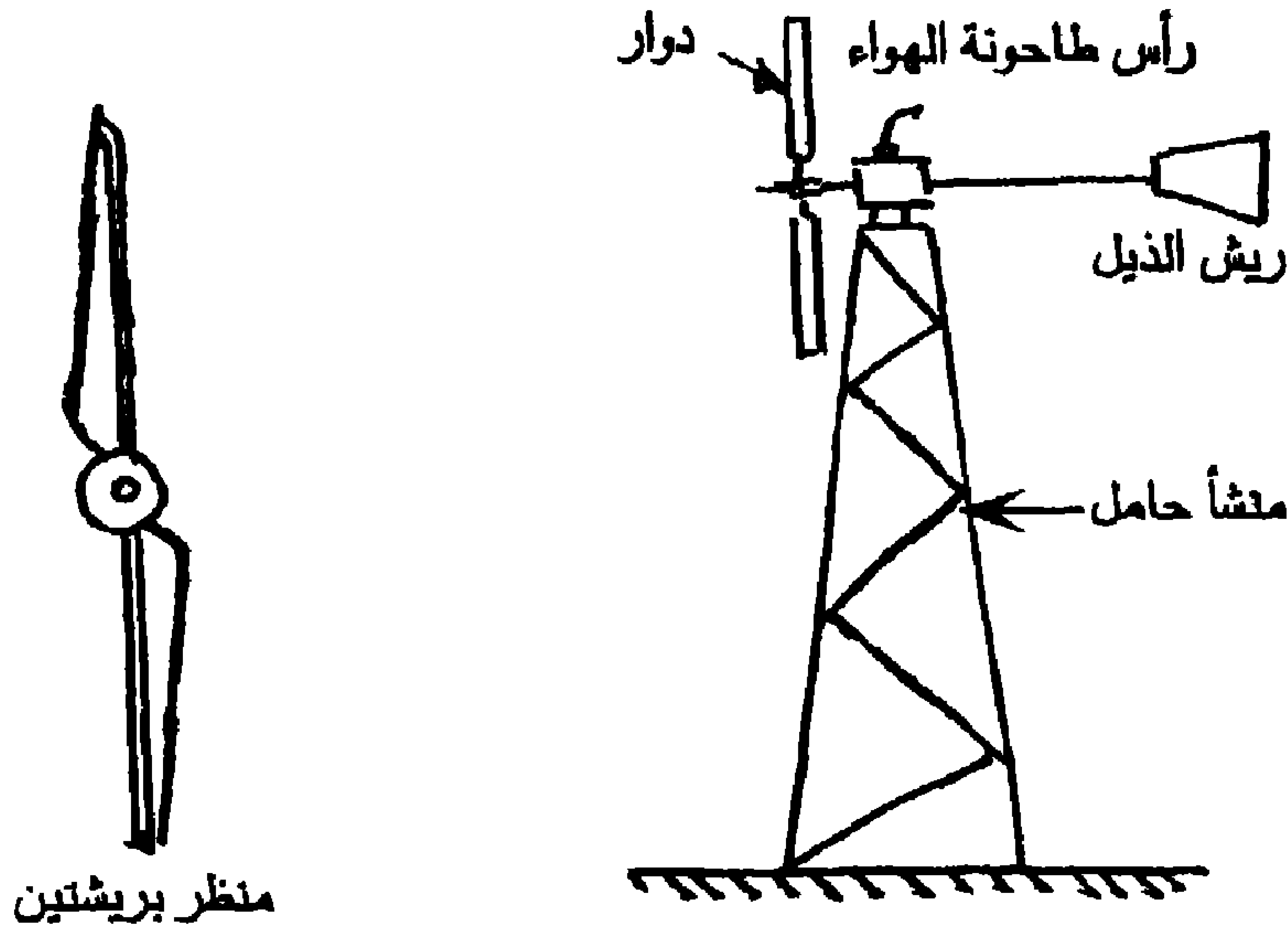
ريشة هذه الطاحونة يمكن أن يكون لها مقطع دقيق أو المقطع السميك الأكثر كفاءة لسطح انسياب الرفع (Aero Foil) كما هو مقترح فى الشكل (١١/٦). الحركة المسببة لـ «الالتواء بسبب الحركة» هنا هى دوران الريش. عند طرف الريش لتربين الريح الحديث، تكون السرعة حوالى ستة أضعاف سرعة الريح. هذا يعنى أن الريش موضوعة مستوية بزاوية صغيرة مع مستوى الدوران وغالبا بزاوية قائمة بالنسبة لاتجاه الريح بحيث إن الريح المؤثرة يقترب متقدما من الطرف الأمامى. عند أجزاء أخرى من الريش، ما بين الطرف المستدق (Tip) ومحور العجلة (Axle)، تكون السرعة والمجموعة المثالية لسطح الانسياب الرافع عند زاوية أكبر بالنسبة لمستوى الدوران. المثالى يتم فتل أولى الريش ولكن بسبب صعوبة الإنشاء فإن ذلك دائما لا يتم.

## سيتم شرح بعض من طواحين الهواء من نوع المحور الرأسى

**١ – المحور الأفقى باستخدام ريشتين الديناميكا الهوائية :**

**(2 Aerodynamic Blades)**

فى هذا النوع من التصميم، يدير الدوار المولد خلال صندوق تروس الزيادة (Step - up Gear Box) – عادة تصمم ريشة الدوار لتكون موجهة باتجاه الريح للبرج. يتم وضع المكونات على لوح قاعدة (Bedplate) الموصل على محور ارتكاز رأسى عند قمة البرج. هذا التنظيم موضح تخطيطا فى الشكل (١١/٨) . ريش الدوار تكون مثبتة باستمرار بواسطة أحمال غير مستقرة للديناميكا الهوائية بأحمال الجاذبية والقصور الذاتى، عندما يكون الجهاز فى العمل. إذا كانت الريش مصنوعة من معدن، فإن الثنى يقلل من عمر استخدامها.



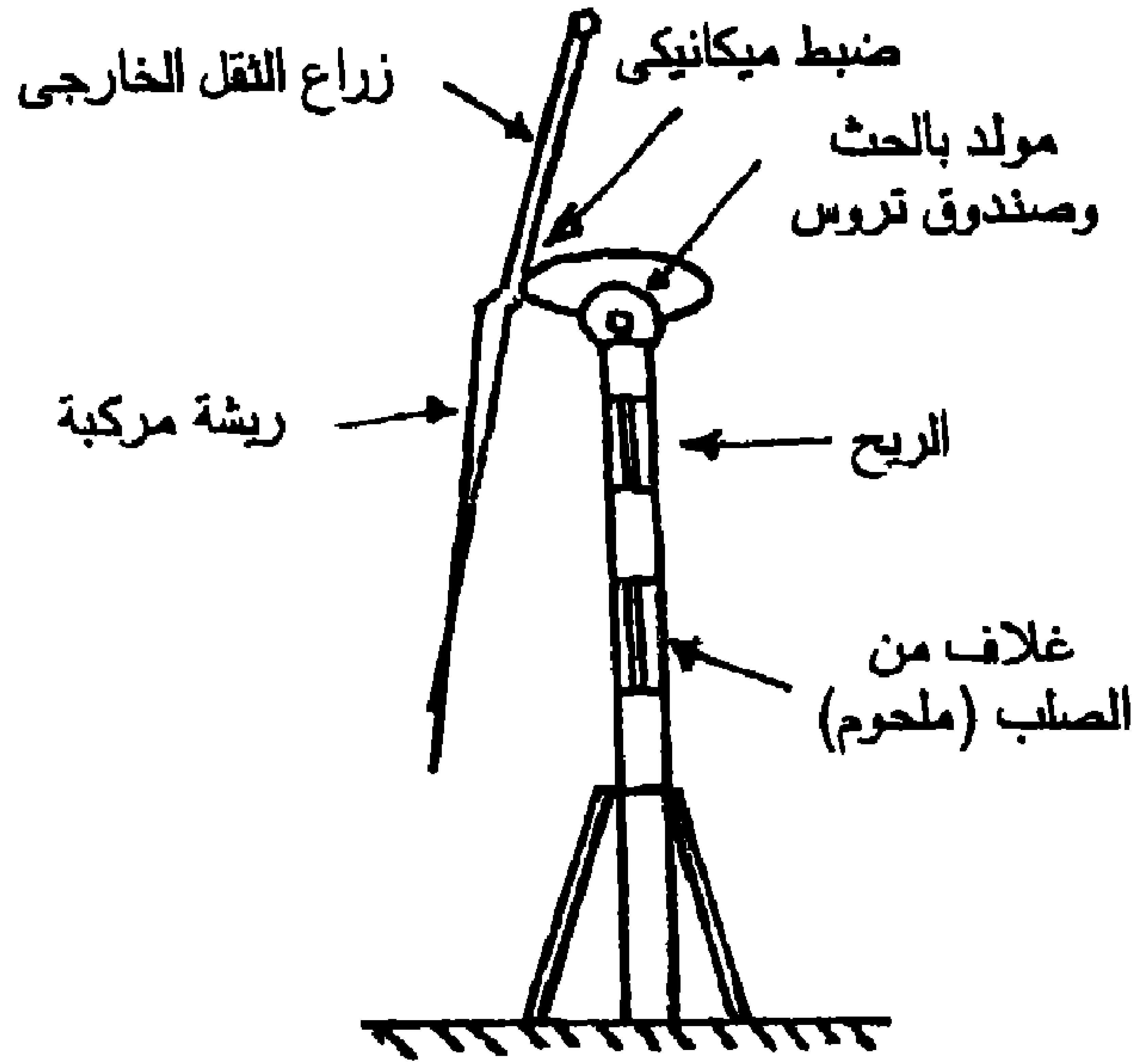

**شكل (١١/٨) : طاحونة هواء ذات المحور الأفقى**

مع الدوار فإن البرج يكون كذلك معرضا للأحمال السابقة، والتى يمكن أن تسبب تلفا شديدا. فى حالة حدوث اهتزازات للدوار متطابقة مع واحد من أشكال الاهتزاز للبرج، فإن كل النظام يمكن أن يهتز إلى قطع. بسبب التكاليف العالية لريشة الدوارات ذات أكثر من ريشتين فإنه غير موصى به. الدوارات ذات ٣ أو ٤ ريش أى أكثر من ٢ يجب أن يكون لها معامل قوة أكبر.

**٢ - النوع ذو الدافع بالمحور الأفقى باستخدام ريشة واحدة .**

**Horizontal Axis Propeller Type Using Single Blade**

فى هذا التنظيم يتم تركيب ريشة طويلة على صرة أو محور صلب الشكل (١١/٩) . موضح كذلك مولد الحث وصندوق تروس. فى حالة تركيب ريش طويلة جدا (أكبر من ٦٠ مترا) على الصرة أو المحور الصلب، فإن عزوم الانحناء لأساس الريشة الضخمة يمكن أن تحدث بسبب الجاذبية والانحراف المفاجئ فى اتجاهات الريح. لخفض تكاليف الدوار، فإنه يوصى باستخدام وزن أو ثقل مماثل (Counter Weight) . والذى يوازن الريش الطويلة بالطرد المركزى.

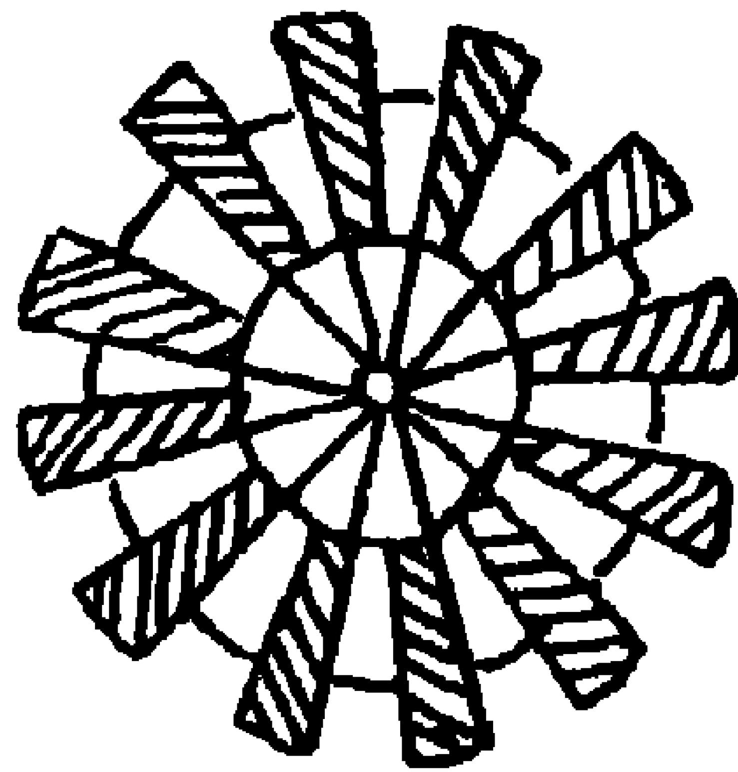



شكل (١١/٩) : طاحونة بالمحور الأفقى بريشة واحدة

### ٣ - النوع عديد الريش بالمحور الأفقى

### Horizotal Axis Mutiblade Type

هذا النوع من التصميم المتعدد الريش موضح فى الشكل (١١/١٠)، المصنوع من ألواح معدنية أو من الألومنيوم.

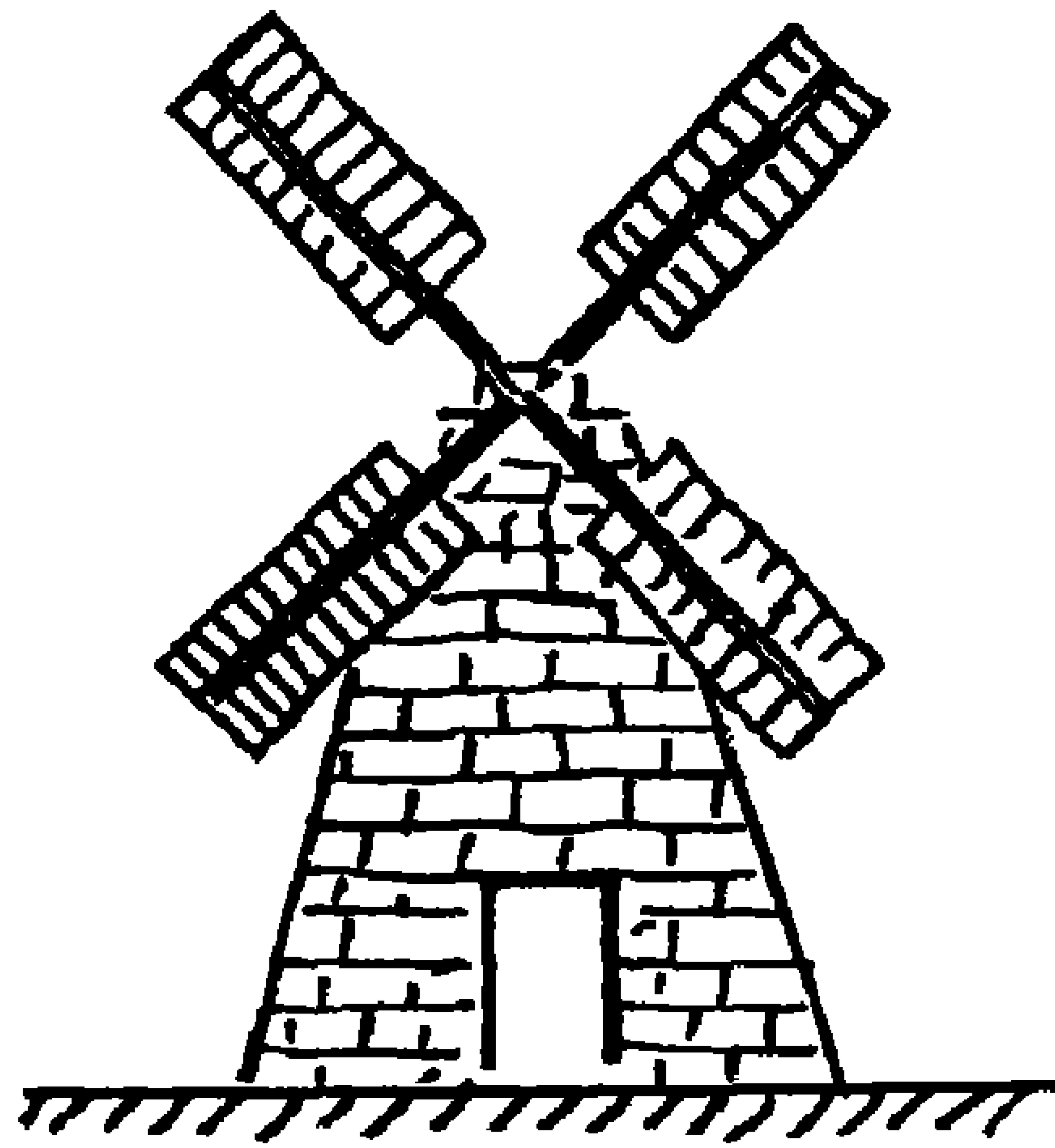


شكل (١١/١٠) : دافع متعدد الريش

الدوارات لها قوة عالية نسبة إلى الوزن وعرفت بأنها تتحمل ساعات من العمل بالدوران الحر (Freewheeling) فى رياح ٦٠ كيلومترا فى الساعة. ولها معامل قوة جيد، وعزم بداية عال وميزة إضافية وهى البساطة والتكلفة المنخفضة.

**٤ – طاحونة الهواء ذات المحور الأفقى – نوع ألمانى :**

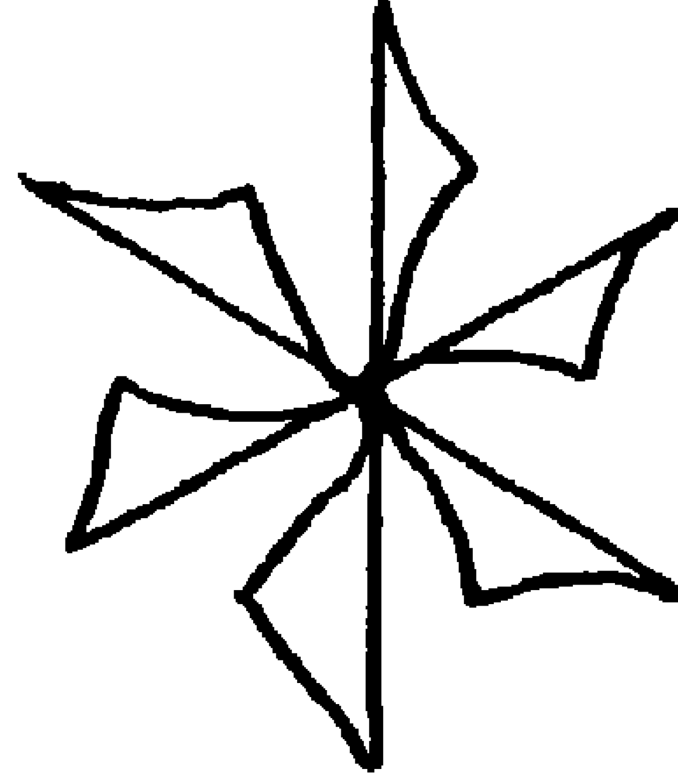
كما هو موضح فى الشكل (١١/١١)، فإنها واحدة من أقدم التصميمات. سطح الريشة مصنوع من مصفوفة من الشرائح الخشبية والتى تتريش (Feathered) عند سرعات الريح العالية



**شكل (١١/١١) : طاحونة ذات محور رأسى – ألمانى**

**٥ – نوع الشراع (Sail Type)**

نوع الشراع ريشة موضحة فى الشكل (١١/١٢) وهو نوع حديث . سطح الريشة مصنوع من القماش، النايلون أو البلاستيك منظم فى شكل الصارى (Mast) وسارية وأجنحة الشراع. يوجد كذلك اختلاف فى عدد الأشرعة المستخدمة.

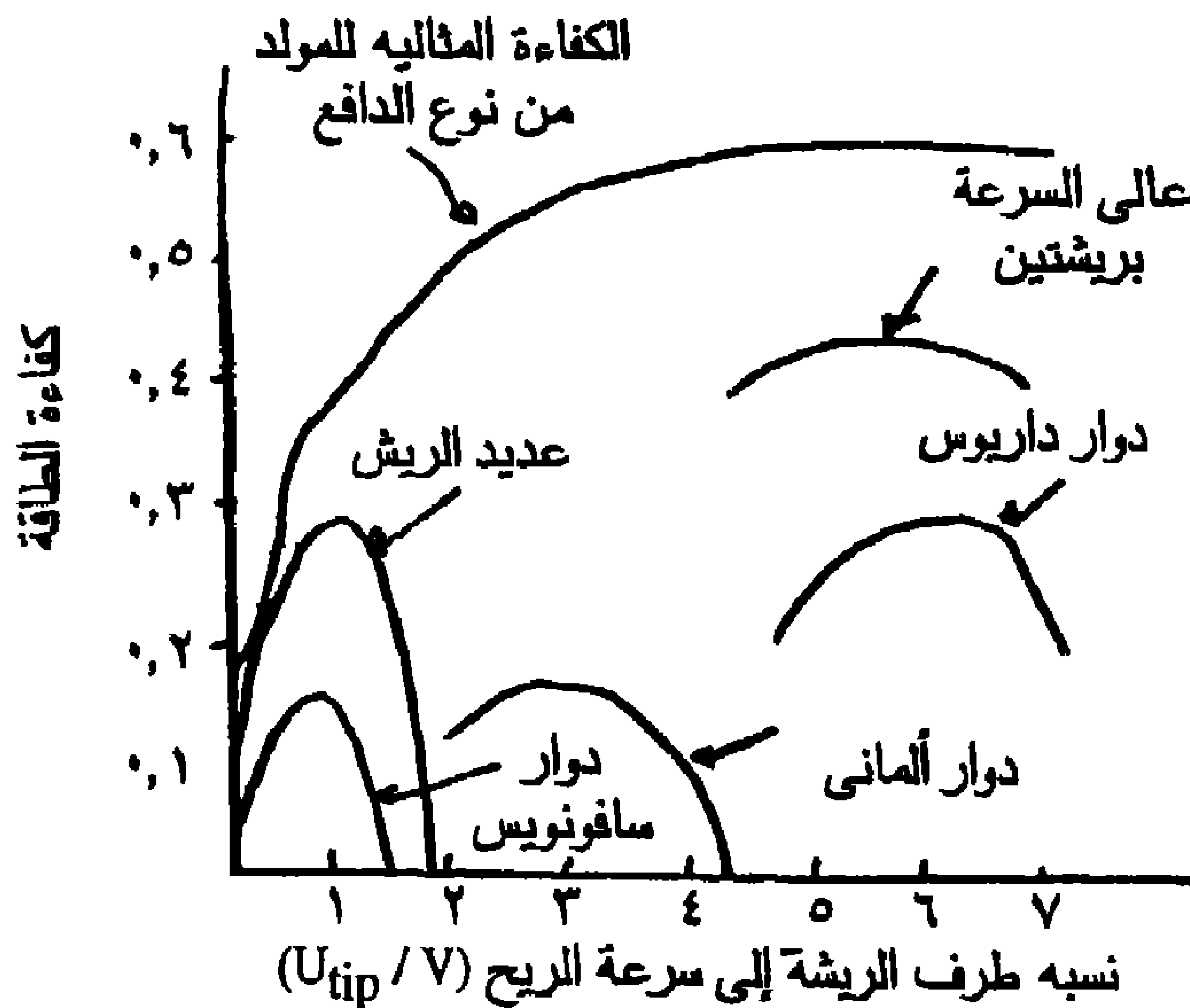


شكل (١١/١٢) : طاحونة هوائية بريش من النوع البحرى

أنواع المحور الأفقى عموما كفاءتها أفضل. فقد استخدمت فى تطبيقات مختلفة، ولكن أهم المجالات هى توليد الطاقة الكهربية وضخ المياه. الأخير أدخل بعض التعقيدات فى التصميم حيث الطاقة الميكانيكية يلزم انتقالها خلال مسافة. كذلك فى بعض الحالات حركة الدوار يلزم تحويلها إلى حركة ترددية.

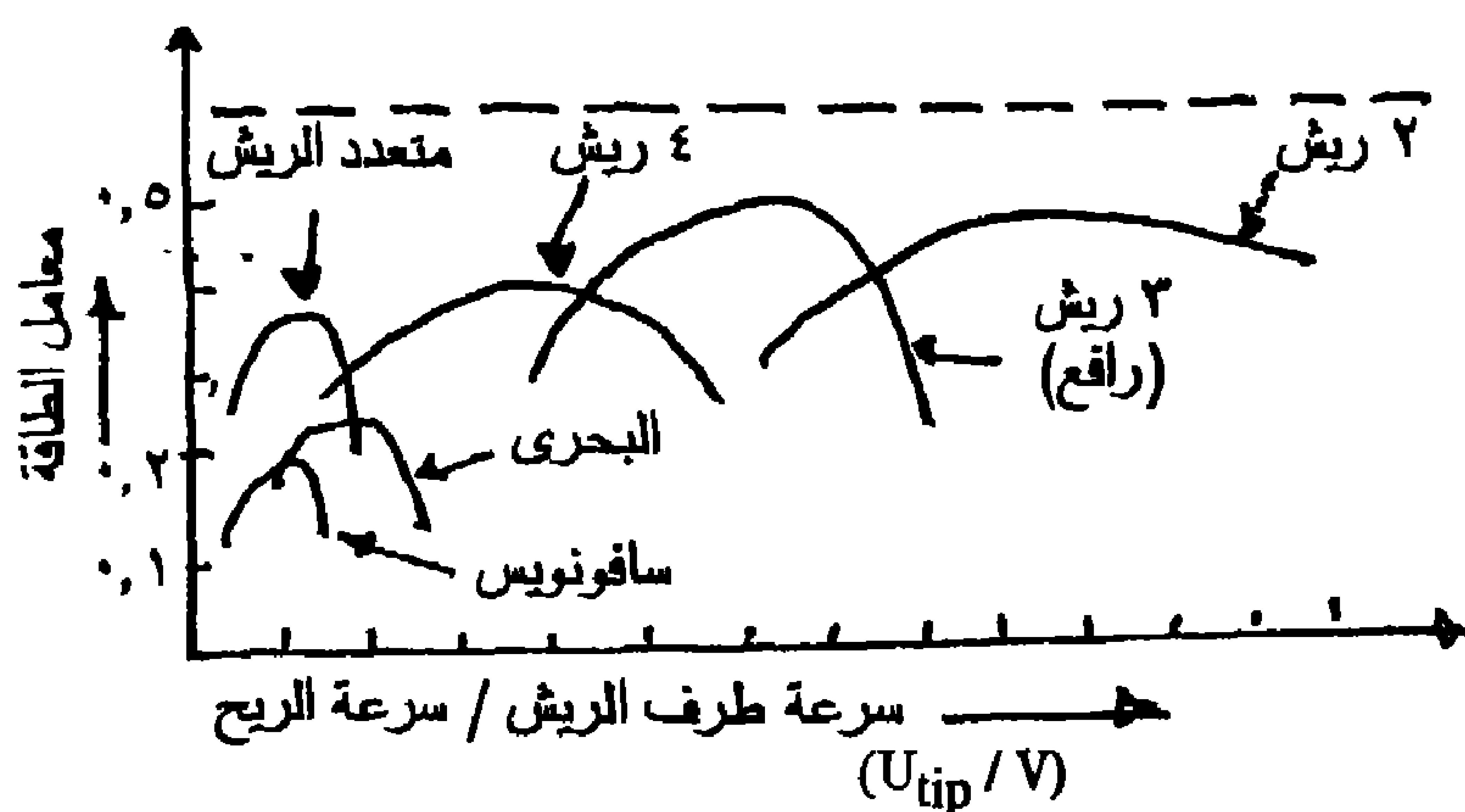
**كفاءة الطواحين الهوائية : (Performance Of Wind Mills)**

من المهم ملاحظة أن قوة الطاقة المحولة تتناسب مع مكعب سرعة الرياح. لذلك، فى حالة انخفاض سرعة الرياح بحوالى ٢٠٪ فإن خرج القوة ينخفض بحوالى ٥٠٪. سرعة الرياح يمكن أن تتغير بشكل كبير من يوم إلى آخر ومن فصل من فصول العام إلى آخر. تتوقف كفاءة مولد الطاقة من الرياح أساسا على تصميم دوار الريح (Wind Rotor) وسرعة الدوران، معبرا عنها بالنسبة ما بين سرعة اندفاع طرف الريشة (Blade Tip) إلى سرعة الريح بعيدا عنها ($U_{tip}$ / V). وهذا موضح فى الشكل (١١/١٣).

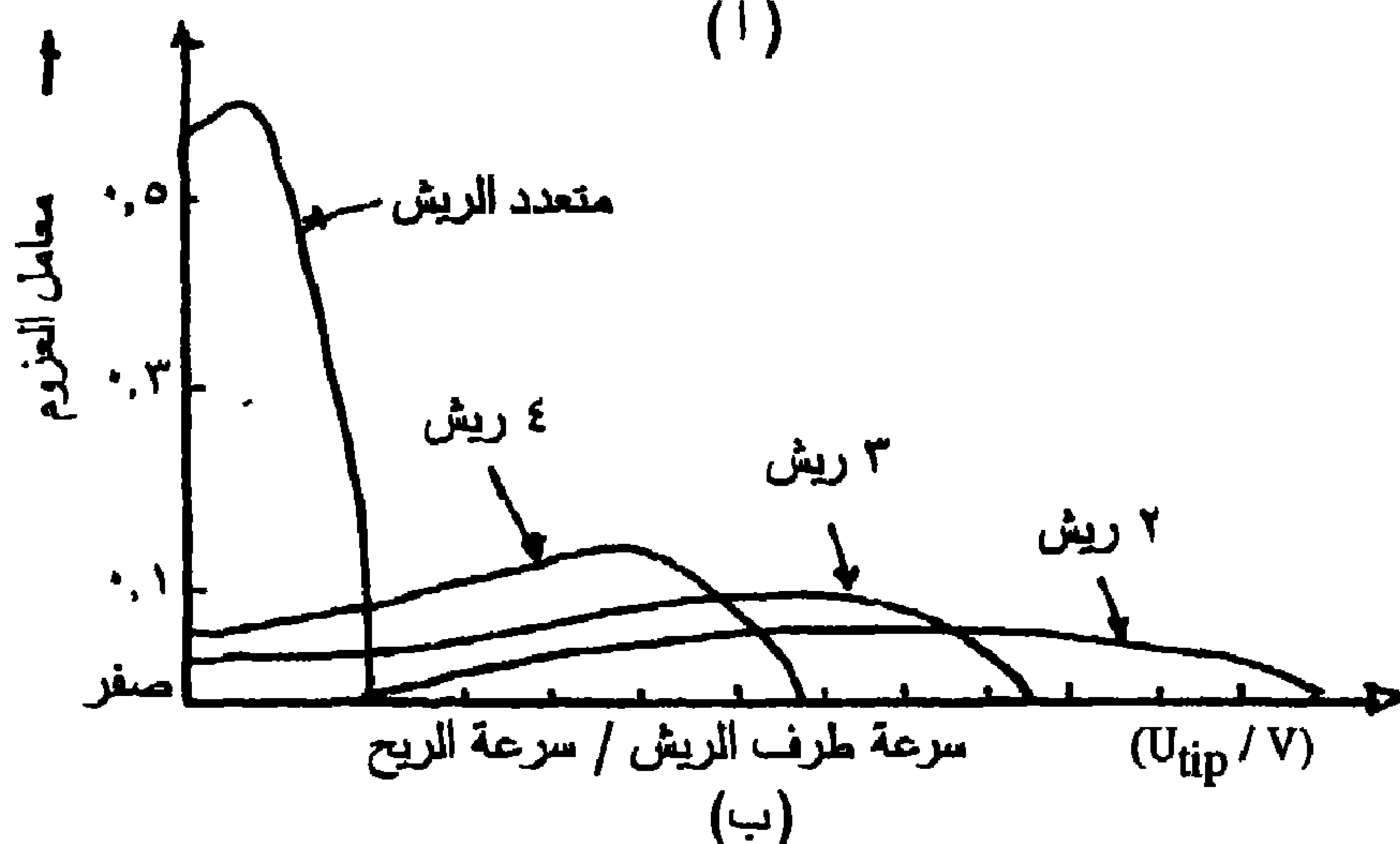



شكل (١١/١٣) : مخطط لكفاءة معدات الريح

القوة المنتجة والسرعة التى عندها تنتج له تأثير على استخدام طاحونة الهواء. عند تطابق هذين عند طرف الإنتاج (Delivery End)، فإن طاحونة الهواء كنظام تحويل الطاقة يمكن أن يكون له أقصى استخدام. الشكل (١١/١٤) يوضح الاتجاه فى تغير الكفاءة لبعض طواحين الهواء.



(أ)



(ب)

**شكل (١١/١٤) : كفاءة طواحين الهواء**

يمكن من الشكل (١١/١٤) استنتاج أن الدافع ذا الريشتين له أفضل كفاءة للنظام. هذا يوضح لماذا أن كل النظم الضخمة التى أنشئت فى الماضى استخدمت معدات ذات ريشتين أو ثلاث. مع زيادة عدد الريش (وبالتالى سطح الريش) فإن

معامل القوة ($C_p$ Max) يقل عند نسبة منخفضة ($U_{tip}$ / V) . وهذا يتضمن أنه للكفاءة العالية فإن ريش الدوار عند معدل عدد اللفات فى الدقيقة مرتفع (وعموما لها أسطح انسياب رافعة للسطح)، وبالتالى فإن العزم يكون منخفضا. تلك الأنواع مفضلة لتوليد الطاقة الكهربية. ولكن الأنواع متعددة الريش ذات عزم البداية العالى (High Starting Torque) أكثر مناسبة لضخ المياه عمليا، فإنه من المستحيل إقامة مولدات تعمل بطاقة الرياح قادرة على العمل بنفس الكفاءة عند سرعات الريح. أولا، توجد أدنى سرعة للرياح التى دونها لا يمكن توليد أى طاقة ذلك بسبب الفقد بالاحتكاك. كذلك، أقصى سرعة تم اختيارها سابقا، أى سرعة الريح المقدرة، القوة المستخلصة تظل ثابتة مع تثبيت سرعة الدوار، فمثلا، عندما تزيد سرعة الريح عن الأقصى المحدد بواسطة المصمم، فإن ريش الدوار تلتوى على محورها بالتتالى لخفض المساحة المؤثرة المواجهة للريح. نتيجة لذلك، فإن جزء الطاقة المستخلص ينخفض مع زيادة سرعة الريح إلى ما بعد السرعة المقدرة. أخيرا عند حوالى ٣٠ مترا / الثانية، فإن الدوار يلتف (Is Furled) لتجنب التلف.

فقط فى حالة سرعات الريح المتوسطة تصل كفاءة النظام إلى أقصاها والقوة المستخلصة عندئذ تتبع القانون ($V^3$) . مجال أفضل تشغيل يعتمد على المعدة التى اختيرت لتعطى أفضل خرج خلال عام. فى حالتنا هذه، فإن هذه يمكن أن تكون فى المجال من ١٠ – ١٤ مترا فى الثانية . ١٤ مترا / الثانية لكونها السرعة المقدرة المستمرة عند سرعات الريح العالية، واعتمادها على درجة التطور، يمكن تحويل ما بين ٧٠ – ٨٥٪ من طاقة الريح القابلة للتحويل إلى الطاقة الحركية بواسطة الدوار. حتى ٢٠٪ من هذه الطاقة سيتم فقده فى النقل بالتروس، التى تصل عامود الدوار مع المولد الكهربى. الطاقة المتاحة للتحويل خلال كل سرعة الريح هى دلالة لطيف دوام سرعة الريح. وهذا يشبه الخلايا الشمسية، حيث كفاءتها تتأثر بقوة بواسطة طيف طول الموجه للإشعاع الشمسى. بالنسبة للطيف المستغل فإن كفاءة الطيف هذه تكون ما بين ٨٪ إلى ٢٠٪. لذلك ، فإن الكفاءة الكلية لمولد الرياح تقدر من ٣ – ٧٪.

كقاعدة عامة، كفاءة التحويل عند مكان معين تتوقف على الذى يمكن تسميته نوعية الريح. الريح المنتظم هو الحالة المثالية، والتى لا يتم مقابلتها فى الواقع، بينما الريح التى تتغير كثيرا فى سرعتها يكون من الصعب تحويلها.

# الفصل الثانى عشر

# طاقة الكتلة الحيوية

## التحويل البيولوجى والكتلة الحيوية

## (Bioconversion And Biomass)

### ١ - مقدمة :

معظم تطبيقات الطاقة الشمسية تأتى تحت الأقسام الثلاثة الآتية :

(١) حصد ضوء الشمس كحرارة – الفوتوحرارى .

(٢) التحول المباشر للكهرباء – فوتوفولتية .

(٣) كيميائى ضوئى (Photo Chemical) . أى أن الطاقة الشمسية يتم تخزينها فى شكل طاقة كيميائية كما فى عملية التمثيل الضوئى (Photosynthesis) . فى هذا الشكل لا يتم نقل الطاقة إلى حرارة ولكنها تستخدم فى النظم الذرية والنظم الجزيئية التى تجتاز تغيرات كيميائية وتنتج الكتلة الحيوية (Biomass) . هذه الكتلة الحيوية عندئذ تستخدم مباشرة بالحرق أو بالتصنيع لإنتاج وقود سائل أو غازى. الكتلة الحيوية تعنى مادة عضوية. عندئذ الأداء الكيميائى الضوئى يعنى حصد الطاقة الشمسية بالتمثيل الضوئى . لذلك.

الطاقة الشمسية ← تمثيل ضوئى ← كتلة حيوية ← توليد طاقة

من بين المصادر المتعددة مثل الطاقة الشمسية، طاقة الرياح، طاقة البحار الحرارية، طاقة المد والأمواج، فإن الطاقة من الكتلة الحيوية تعتبر ذات أهمية خاصة وذلك بالنسبة للدول النامية .

مصادر الكتلة الحيوية توجد فى ثلاثة أنواع ،وهى:

(١) الكتلة الصلبة التقليدية (الأخشاب والمخلفات الزراعية) .

(٢) الكتلة الحيوية فى الشكل غير التقليدى (المحولة إلى الوقود السائل). النوع الأول هو بحرق الكتلة الحيوية مباشرة والحصول على طاقة. النوع الثانى، تتحول الكتلة الحيوية إلى الإيثانول (أى الكحول الإيثيلى) والميثانول (الكحول الميثيلى) للاستخدام كوقود سائل فى المحركات.

(٣) النوع الثالث هو بتخمر الكتلة الحيوية لاهوائيا للحصول على وقود غازى يسمى البيوجاز (Biogas). حول تكنولوجيا البيوجاز سيتم مناقشتها بالتفصيل.

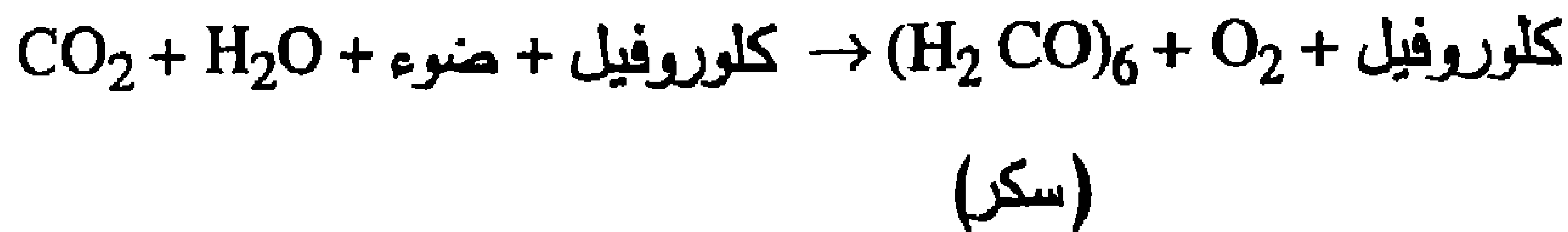
استخدام البيوجاز كمصدر للطاقة يرجع إلى بداية القرن العشرين عندما كان يتم الهضم اللاهوائى لحمأة الصرف الصحى وجمع الغاز الناتج واستخدامه فى محطة معالجة الصرف الصحى نفسها لتسخين الحمأة أثناء الهضم. فكرة إنتاج البيوجاز من المخلفات المنزلية والحيوانية واستخدامه فى المناطق الريفية كمصدر للطاقة كانت أصلا من الابتكارات الهندية. كذلك فإن الهضم اللاهوائى للمخلفات لا ينتج عنه بيوجاز فقط ولكن ينتج كذلك ردغة (Slurry) ذات القيمة السمادية أفضل لكون المكونات السمادية فى الردغة المهضومة تستخدم مباشرة بواسطة النبات.

## ٢ - التمثيل الضوئى (Photosynthesis)

التمثيل الضوئى فى النبات هو مثال للتحول البيولوجى للطاقة الشمسية إلى السكريات والنشويات والتى هى مركبات غنية بالطاقة؛ لذلك فإنه فى حالة زراعة أشجار سريعة النمو وذات كفاءة تمثيل ضوئى عالية فإنه يمكن حصد وحرق تلك الأشجار لإنتاج البخار بطريقة مشابهة كما فى محطات الطاقة الحرارية لإنتاج الطاقة الكهربية. مثل هذا الاستزراع للطاقة سيكون مصدرا متجددا ووسيلة اقتصادية لحصد الطاقة الشمسية. ولكن، مفاهيم التمثيل الضوئى ليست جذابة؛ ذلك لأن متوسط الكفاءة لتحويل الطاقة الشمسية فى النباتات هى حوالى ١ ٪ والكفاءة الكلية لتحويل ضوء الشمس إلى الكهرباء يمكن أن تصل إلى ٠,٣ ٪ مقارنة بحوالى ١٠ ٪ للخلايا الفوتوفولتية.

عملية التمثيل الضوئى شديدة التعقيد، إن أهم تفاعل كيميائى على سطح الأرض، هو تفاعل ضوء الشمس والنباتات الخضراء. طاقة الإشعاع الشمسى يتم امتصاصها بواسطة الصبغة الخضراء فى النبات وهى الكلوروفيل وتخزن خلال النبات فى شكل طاقة رباط كيماوى. فى هذا التفاعل كل من جزيئات ثانى أكسيد الكربون

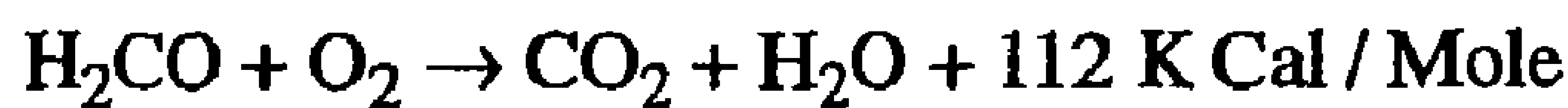
والماء تتكسر ويتكون الكربوهيدريت (Carbohydrate) مع انطلاق الأكسجين النقى. يمكن تمثيل هذا التفاعل بالمعادلة الآتية :



كلوروفيل + $CO_2 + H_2O$ + ضوء + كلوروفيل $\rightarrow (H_2\,CO)_6 + O_2$

(سكر)

$6\,CO_2 + 12\,H_2O \rightarrow C_6\,H_{12}\,O_6 + 6\,H_2O + 6\,O_2$ أو الضوء الممتص يكون فى مجال الأشعة فوق البنفسجية وتحت الحمراء. الضوء المرئى الذى له طول موجه ٧٠٠ أنجسترون (700 A°) يمتص بواسطة الكلوروفيل الأخضر والذى يصبح منشطا ويمرر طاقته نحو جزيئات الماء. ذرة الهدروجين عندئذ تنطلق وتتفاعل مع جزىء ثانى أكسيد الكربون لإنتاج $H_2CO$ وأكسجين. $H_2CO$ عبارة عن جزىء أساسى مكونا كربوهيدريت ، مستقرا عند درجة حرارة منخفضة ويتفكك عند درجة الحرارة العالية، حيث تنطلق كمية من الحرارة تساوى ١٢٠٠٠ كالورى / الجزئ.



$$H_2CO + O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O + 112\ K\,Cal / Mole$$

الطاقة الممتصة بواسطة وحدات الكم الضوئى (Photons) يجب ألا تقل عن هذه الكمية؛ لذلك فإنه من الممكن إنتاج كمية ضخمة من الكربوهيدريت باستنبات الطحالب تحت الظروف المناسبة فى برك أو أنابيب بلاستيك. يتم حصد الطحالب وتجفيفها وحرقها لإنتاج الطاقة والتى يمكن تحويلها إلى الكهرباء بالطرق التقليدية.

لذلك فإن التمثيل الضوئى يتكون من بناء كربوهيدريت بسيط مثل السكر ... إلخ. فى الورق الأخضر فى وجود ضوء الشمس. الأكسجين المنطلق يكون من جزيئات الماء ($H_2O$) وليس من $CO_2$. هذه العملية تسمى تثبيت الكربون (Carbon Fixation). التمثيل الضوئى هو أساسا عملية اختزال وأكسدة.

عملية التمثيل الضوئى تتم فى خطوتين أساسيتين وهما : (١) انشطار جزيئات الماء ($H_2O$) إلى $H_2$ ، $O_2$ تحت تأثير الكلوروفيل وضوء الشمس. هذا التفاعل يسمى التفاعل الضوئى (Light Reaction)، حيث الضوء الممتص بواسطة الكلوروفيل يسبب التحلل الضوئى (Photolysis) للماء. الأكسجين ينطلق فى الجو ويتحول الهدروجين

($H_2$) إلى مركب غير معروف. لذلك فإن الطاقة الشمسية تتحول إلى طاقة كيماوية فى الخطوة الثانية. يتحول الهدروجين من مركب غير معروف إلى $CO_2$ لتكوين النشا أو السكر. تكوين النشا أو السكر هو تفاعل مظلم لا يحتاج إلى ضوء الشمس.

## الظروف الضرورية للتمثيل الضوئى هى :

١ – الضوء :

أحد المدخلات الهامة لانتاج الكتلة الحيوية هو كثافة الإشعاع الشمسى. جزء فقط من هذه الطاقة (٤٠ – ٤٥ ٪) هو ذو طول موجة مناسب (٤٠٠ – ٧٠٠ وحدة أنجسترون) (400 - 700 A°) لإنتاج التمثيل الضوئى . النباتات تستخدم الإشعاع ما بين ٤٠٠ إلى ٧٠٠ وحدة أنجسترون. يستخدم فقط جزء من هذه الطاقة فى التمثيل الضوئى؛ مجال الضوء هذا يسمى الإشعاع النشط للتمثيل الضوئى (Photo - Synthetically Active Radiation) . الحد العلوى لكفاءة التمثيل الضوئى هو ٥ ٪.

٢ – تركيز $CO_2$ :

ثانى أكسيد الكربون هو المادة الخام الأولية للتمثيل الضوئى. يكون $CO_2$ ٠,٠٣ ٪ من الغلاف الجوى. ولكن فى حالة زيادة $CO_2$ صناعيا فقد لوحظ زيادة فى إنتاجية محاصيل عديدة إلى حد ما. لذلك فإن أحد الطرق لزيادة الكتلة الحيوية هى بتوفير $CO_2$ إضافى إلى النباتات. المصادر الرئيسية لـ $CO_2$ هى :

(١) تنفس الحيوانات.

(٢) حرق الوقود الأحفورى.

(٣) المصدر الرئيسى هو تحلل المادة العضوية بواسطة البكتريا.

(٤) البحار والمحيطات هى كذلك مصدر هام لـ $CO_2$، حيث يكون معظمه من تنفس النباتات المائية والحيوانية وانطلاق $CO_2$ فى الماء.

٣ – درجة الحرارة :

التمثيل الضوئى يعاق بمجال درجة الحرارة الذى يمكن أن يتحملها البروتين أى من صفر إلى ٦٠°م. رغم أن الجزء الضوئى الكيماوى لا يتأثر بدرجة الحرارة،

ولكن الجزء الكيماوى الحيوى المحكم بواسطة الأنزيمات، شديد الحساسية لدرجة الحرارة.

### ٣ - إنتاج الغاز الحيوى (البيوجاز) (Biogas Generation)

الغاز الحيوى يحتوى من ٥٥ إلى ٦٥٪ غاز الميثان ($CH_4$) ، من ٣٠ إلى ٤٠٪ غاز ثانى أكسيد الكربون والباقى ملوثات مثل ($H_2S$ ، $H_2$)، بعض من $N_2$). يمكن إنتاجه بتحلل الحيوان، والنبات والمخلفات الآدمية. وهو غاز نظيف ولكنه بطىء الحرق وعادة له قيمة حرارية (Calorific Value) ما بين ٥٠٠٠ إلى ٥٥٠٠ كيلو كالورى / كجرام. يمكن استخدامه مباشرة فى طهى الطعام، بما يقلل من الحاجة إلى حرق الأخشاب . هذا بالإضافة إلى أن المادة التى ينتج منها هذا الغاز الحيوى تظل محتفظة بقيمتها السمادية ويمكن عودتها ثانيا إلى التربة. الغاز الحيوى يمكن إنتاجه كذلك من مواد أخرى بالإضافة إلى المخلفات الآدمية والحيوانية مثل الطحالب، مخلفات المحاصيل (المخلفات الزراعية) مخلفات المطابخ المنزلية، الورقية، مخلفات صناعة السكر ... إلخ . أى مادة عضوية سليلوزية من أصل نباتى أو حيوانى القابلة للتحلل البيولوجى تعتبر مادة جيدة ومناسبة لإنتاج البيوجاز.

ينتج البيوجاز بالهضم (Digestion)، التحلل الحرارى (Pyrolysis)، أو التحول إلى الغاز بالماء (Hydro - Gasification).

الهضم هو عملية بيولوجية التى تحدث فى عدم وجود الأكسجين وفى وجود الكائنات اللاهوائية عند الضغط العادى ودرجة الحرارة من ٣٥ إلى ٧٠°م . الوعاء الذى يحدث فيه هذا الهضم يعرف بجهاز الهضم (Digestor).

**الهضم اللاهوائى** : كما تم وصفه فإن معالجة أى ردغة أو حمأة محتوية على كمية كبيرة من المادة العضوية، باستخدام البكتريا والكائنات الدقيقة الأخرى فى الظروف اللاهوائية عادة يسمى الهضم اللاهوائى أو ببساطة الهضم. هذا الهضم اللاهوائى يتكون من ثلاثة مجالات وهى :

(١) التحلل بالأنزيمات (Enzymatic Hydrolysis) : فى هذه الحالة يحدث تكسير للدهون، والنشويات والبروتينات الموجودة فى المادة السليلوزية حيث تتحول إلى مركبات بسيطة.

(٢) **تكون الحامض (Acid Formation)** : حيث الكائنات الحية الصغيرة ذات المجموعة اللاهوائية أو المختلطة (Facultative) المسماة بالمكون للحامض (Acid Formers) ، تحلل وتخمر إلى مركبات بسيطة مثل أحماض الأسيتيك والأحماض المتطايرة. نتيجة تتحلل المركبات العضوية المعقدة إلى أحماض عضوية ذات تسلسل بسيط .

(٣) **تكون الميثان** : حيث تلك الأحماض العضوية يتم تحويلها إلى غاز الميثان ($CH_4$)، $CO_2$ بواسطة البكتريا اللاهوائية تحديدا. هذه البكتيرا تسمى مخمر الميثان (Methane Fermentors) . للهضم الكفء، فإن مكونات الحامض هذه ومخمرات الميثان يجب أن تظل فى حالة اتزان ديناميكى – هذا الاتزان عامل شديد الأهمية والذى يقرر كفاءة التوليد.

أى مادة متبقية غير قابلة للتحلل التى توجد فى الحمأة أو فى المادة الطافية (Supernatent) تسمى الردغة (Slurry) . المواد الخام يتم خلطها مع الماء وتغذيتها إلى الهاضم. يكون من المهم الانتباه التام نحو تصميم الهاضم، وإلا فإن إنتاج الغاز سوف لا يتأثر فقط من ناحية النوعية والكمية ولكنه يصبح غير اقتصادى. للهضم الكفء فإن مكونات الحامض ومخمر الميثان يجب أن تكون فى حالة من الاتزان الديناميكى. لقد ثبت أن مكونات الميثان (Formers) لها حساسية بالنسبة للتغيرات فى الرقم الهدروجينى (pH-Changes) . قيمة الرقم الهيدروجينى ما بين ٦,٥ إلى ٨ هى المفضلة للتخمير والإنتاج الطبيعى للغاز. الهاضم يجب أن يكون معدل التغير فى درجة الحرارة لا يزيد عن ٢ – ٣°م، حيث يحدث التخمر اللاهوائى. ارتفاع درجة الحرارة واستمرارها يساعد على تحسن فى كمية الغاز. بكتريا الميثان تعمل جيدا عند درجة حرارة ما بين ٣٥ – ٣٨°م. الهبوط فى إنتاج الغاز يبدأ عند ٢٠°م ويتوقف عند ١٠°م. النسبة المحددة ما بين الكربون إلى النتروجين (C/N Ratio) يجب أن تظل ما بين ٢٥:١ ، ٣٠:١ . هذه النسبة سوف تتغير لمختلف المواد الخام. عناصر الكربون (فى شكل الكربون مع الماء (Carbon Hydrates) والنتروجين (فى شكل بروتين، نترات أمونيا ... إلخ) هى الغذاء الرئيسى للبكتريا اللاهوائية. يستخدم الكربون للطاقة والنتروجين لبناء الخلايا. البكتريا تستخدم الكربون حتى ثلاثين ضعف السرعة نحو استخدامها للنتروجين. يجب أن يكون هناك محتوى مناسب من الماء ويجب أن يكون

حوالى ٩٠٪ من وزن إجمالى المحتويات. كل من الماء القليل جدا أو الماء الكثير جدا يعتبر ضارا. تقليب الردغة (Slurry) يحسن من إنتاج الغاز. معدل التحميل أى كمية المادة الخام (عادة كيلوجرام من المادة الصلبة المتطايرة فى اليوم لوحدة الحجم) يجب أن يكون هو الأقصى. فى حالة تحميل الهاضم بالكثير جدا من المادة الخام، فإنه سوف يحدث تراكم للحامض ويتوقف التخمر.

**الهاضمات وتصميمها : Digestors And Their Designs**

خزانات الهضم يمكن أن تكون بأى شكل مناسب ومزودة بغطاء لحجز الغاز. الغطاء يمكن أن يكون مثبتا أو طافيا. العوامل التى يجب أن تؤخذ فى الاعتبار للوصول إلى الحجم المناسب لوحدة إنتاج البيوجاز هى :

١ – حجم المخلفات التى يتم هضمها يوميا.

٢ – نوع وكمية المخلفات المتاحة للهضم الثابت .

٣ – الفترة الزمنية للهضم .

٤ – طريقة التقليب، المحتويات.

٥ – طريقة إضافة المخلفات الخام وسحب الردغة المهضومة.

٦ – كفاءة جمع المخلفات الخام.

٧ – الظروف المناخية للمنطقة .

٨ – توفر مخلفات سيليلوزية أخرى قابلة للتحلل فى تلك المنطقة.

٩ – المعلومات حول حالة خط المياه الجوفية والظروف لما تحت سطح التربة.

١٠ – نوع الغطاء.

لا يتم توفير تسخين أو تقليب منفصل للمحتويات لهضم المخلفات المنزلية أو الزراعية.

طاقة حوض الهضم يمكن تقديرها طبقا للمعادلة

$$\text{الطاقة} = \frac{V_2 + V_1}{2} \times t$$

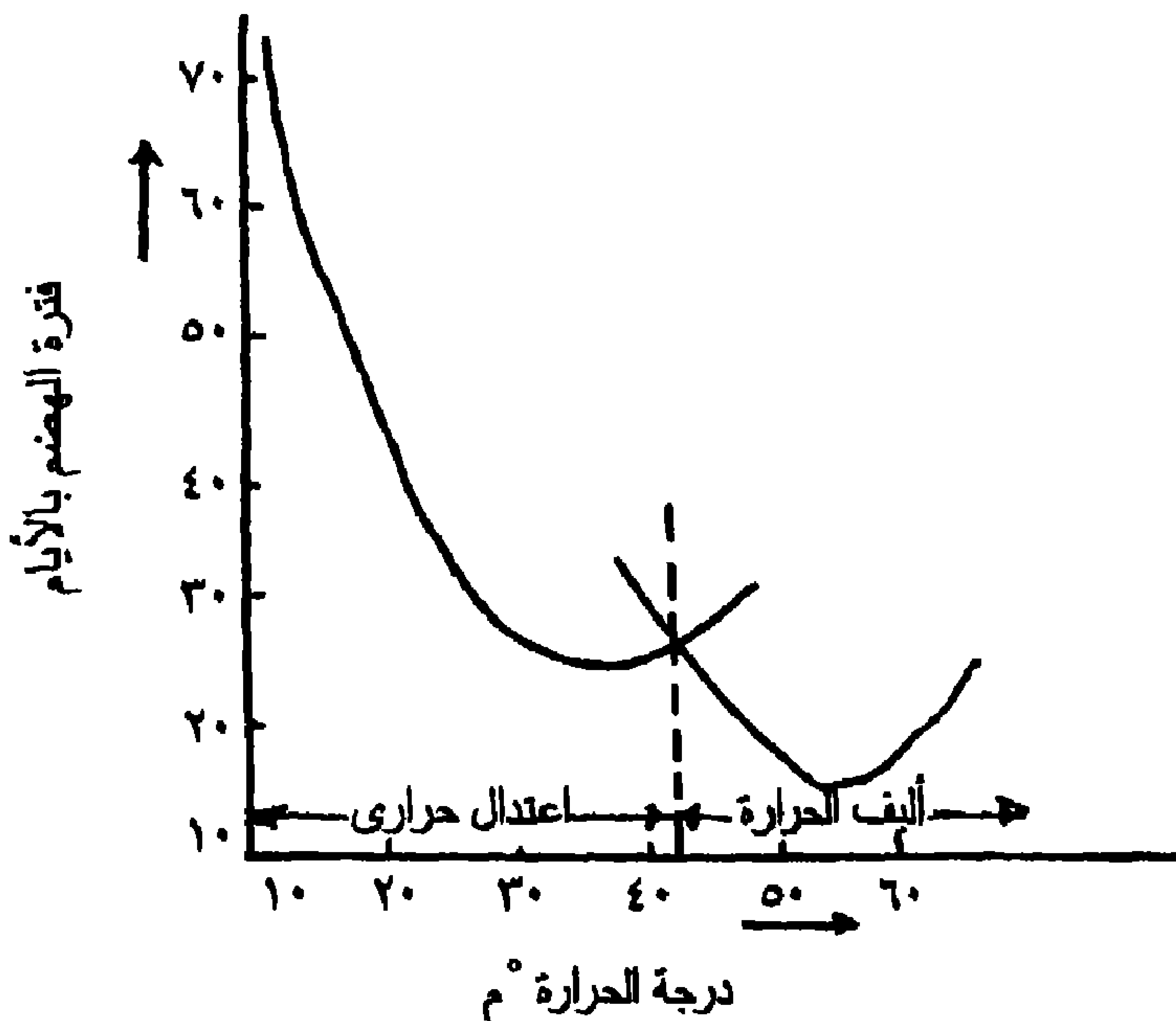
حيث :

$V_1$ = حجم المخلفات التى تضاف يوميا.

$V_2$ = حجم المخلفات بعد الهضم .

t = زمن الهضم بالأيام .

الطاقة المطلوبة لحوض الهضم يمكن حسابها على أساس تدمير ٣/٢ من المادة العضوية فى الردغة وتحويل ٤/١ من ما يتم تدميره إلى مادة معدنية والباقى إلى غازات. الفترة الزمنية للهضم (t) يتم تثبيتها بواسطة الفترة الزمنية الضرورية لإنتاج الحمأة المهضومة الضرورية. هذا يتوقف أساسا على درجة حرارة الهضم والتى يمكن تثبيتها من الشكل (١٢/١)




**شكل (١٢/١) : تأثير الحرارة على عملية الهضم**

لقد ثبت أن هناك نوعين من الكائنات الحية الدقيقة المسئولة عن الهضم عند مجالين لدرجة الحرارة وهما أليفة الاعتدال الحرارى (Mesophilic) ، أليفة الحرارة (Thermophilic) . أقصى درجة حرارة لأليفة الاعتدال الحرارى هى ٣٥°م ، بينما

أقصى درجة حرارة لأليفة الحرارة هى حول ٥٥°م . فى الأجواء حيث درجة الحرارة المنخفضة يتم تسخين معظم أحواض الهضم لحمأة الصرف الصحى إلى ٣٥°م ، وذلك لتقليل الوقت اللازم للهضم؛ ولذلك، طاقة الخزانات. المجال الحرارى لم يتم وضعه فى التنفيذ بسبب المشاكل المصاحبة لتسخين الخزانات إلى مثل درجة الحرارة المرتفعة هذه. تسخين الخزانات المصممة أساسا لجمع البيوجاز يمكن ألا يكون عمليا.

شكل خزانات الهضم المستخدمة عمليا متعددة ولا يوجد شكل معين يبدو أن له مميزات عن الآخر.

**نوعان من الأغطية التى يمكن استخدامها لخزانات الهضم هما :**

(١) النوع المثبت (٢) النوع الطافى.

النوع الطافى له المميزات الآتية مقارنة بالنوع المثبت .

١ – توجد مادة طافية (خبث) أقل وما يترتب عليه من مشاكل ذلك لأن المواد الصلبة تكون باستمرار غاطسة.

٢ – لا توجد حاجة لتجهيزة تسوية الضغط مستقلة، عند إضافة اله خلفات الطازجة إلى الخزان أو عند سحب الردغة المهضومة.

٣ – فيه ، يكون خطر خلط الأكسجين مع الغاز لتكوين خليط مفرقع عند أدناه .

الميزة الرئيسية للغطاء المثبت هى التكلفة المنخفضة ومقاومة التأكل.

**الهاضمات المستخدمة أساسا هما نوعان فقط.**

* خادى (Khadi) الهندى (Gobar Gas Collector).

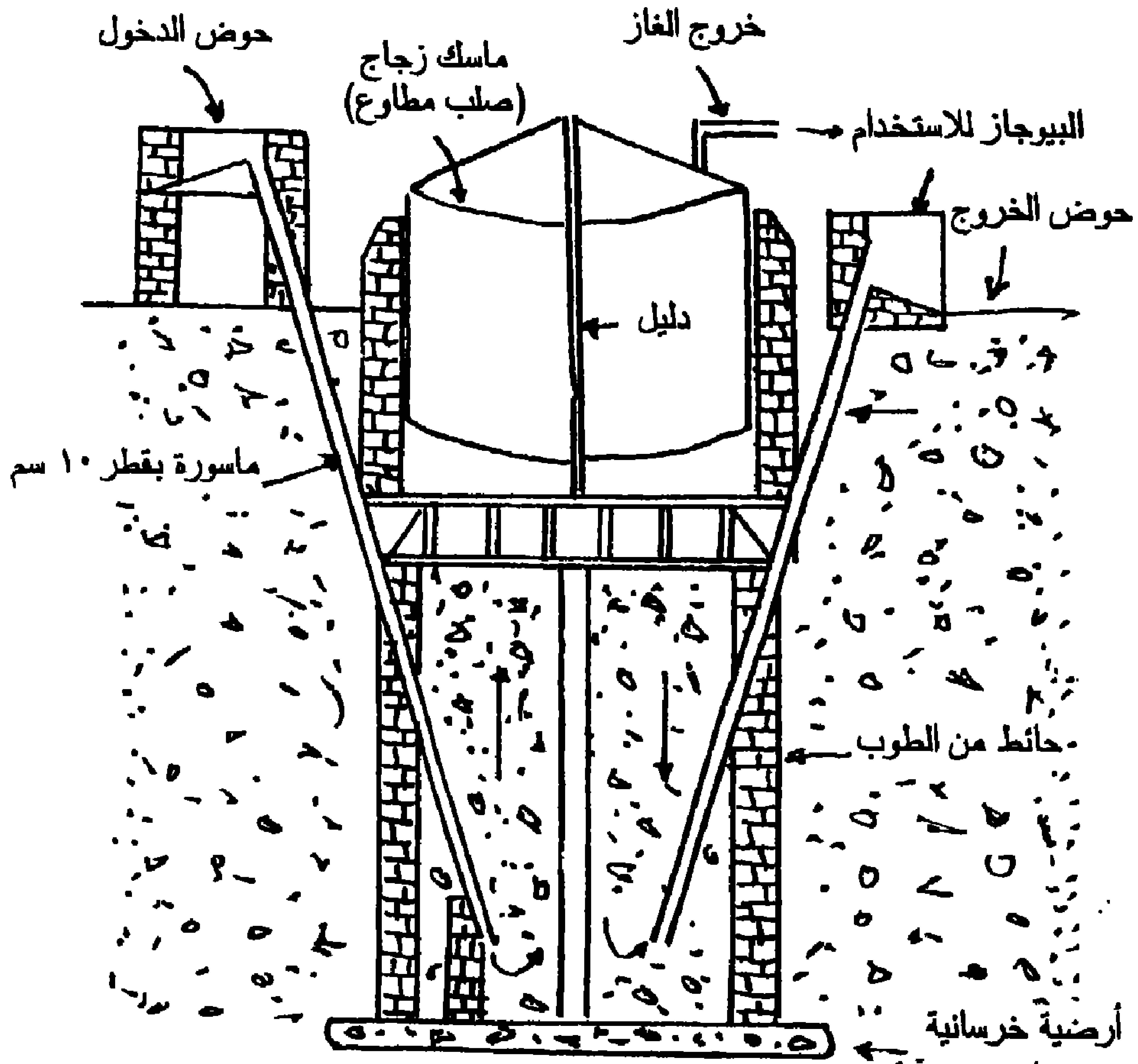
* والنوع الآخر هو بالتصميم الصينى.

**١ – هاضم جوبار خادى الهندى :**

هذا الهاضم يتكون من جزئين وهما الهاضم أو الحفرة، جامع الغاز كما هو موضح فى الشكل (١٢/٢) ، فهو يتكون من الهاضم أو الحفرة والتى تكون للتخمير وطفو الأسطوانة أو البرميل (Drum) لجمع الغاز. الهاضم يكون مبنيا من الطوب فى شكل حفرة تحت سطح الأرض أو فى شكل حفرة بئر قصير، حيث عمق البئر يتراوح

ما بين ٣,٥ إلى ٦ م والقطر من ١,٢ إلى ٦ م طبقا لطاقة توليد الغاز وكمية المادة الخام التى يتم تغذيتها كل يوم. يوجد قطوع أو حائط فى المنتصف والذى يقسم بئر الهضم رأسيا إلى غرفتين كل فى شكل شبه أسطوانة . حائط القطوع يكون أسفل قمة الهاضم؛ ولذلك فإنه يكون مغمورا فى الردغة عندما يكون الهاضم ممتلئا. توجد ماسورتان أسمنتيتان مائلتان واحدة للدخول والثانية للخروج. غرفة الدخول قرب الهاضم عند مستوى السطح تعمل لخلط الروث والماء (الردغة) بنسبة ٤ :٥ ، تتدفق إلى أسفل ماسورة الدخول إلى قاع الهاضم. هذا النوع من التصميم يمكن أن يستوعب مادة خام لمدة ٦٠ يوما . غرفة الخروج والتى هى كذلك قريبة من مستوى السطح أو أقل قليلا من مستوى غرفة الدخول بالقليل من السنتيمترات. عند إضافة ردغة زائدة وامتلاء كلتا غرفتى الهاضم، عندئذ فإن كمية مكافئة من الحمأة المخمرة تتدفق إلى الخارج عند المخرج وتصرف على حفرة الجمع.

جامع الغاز (Gas Holder) للهاضم عبارة عن برميل أو أسطوانة مصنوعة من الصلب الكربونى وتكون فى الشكل الأسطوانى وذات قمة قمعية وحامل نصف قطرى عند القاع. وهو يركب فى الهاضم مثل السدادة. وهو يغطس فى الردغة بفعل وزنه ويرتكز على حلقة معدة لهذا الغرض. مع توالد الغاز فإن جامع الغاز يرتفع ويطفو بحرية على سطح الردغة. يتم تجهيز ماسورة عند أعلا جامع الغاز وذلك لتدفق الغاز للاستخدام. توجد ماسورة توجيه مركزية لمنع جامع الغاز من الميل. وهى موضوعة فى إطار ومثبتة عند القاع فى البناء من الطوب. جامع الغاز هذا يعمل كذلك كعازل للغاز. ضغط الغاز يتغير ما بين ١٠–١٥سم من عامود الماء. الغاز قبل الاستخدام يتم تحريره خلال وعاء محتوٍ على صودا الجير (Sodalime) لتجفيفه. عموما الحفرة عميقة وضيقة ولكن فى الأماكن حيث يكون خط المياه الجوفية منخفضا، فإنه يتم تطوير التصميم مع أخذ الحجم أفقيا. الأسطوانة الطافية تكون معدنية وتمثل ٤٠٪ من تكلفة الوحدة. هذا إلى جانب أنه فى حالة عدم الصيانة الجيدة فإن هذه الأسطوانة أو البرميل يحدث له تآكل وبذا يقل العمر لاستخدام الوحدة، وربما يكون هذا السبب فى عدم قبول هذا النظام لدى المستخدمين. ولكن الإنشاء سهل وبسيط ويأتى الغاز عند ضغط ثابت.




شكل (١٢/٢) : مخطط للهاضم التقليدى (الهندى)

**(٢) الهاضم الصينى : (Chinese Digestor)**

لقد ذهب الصينيون أساسا نحو تكنولوجيا البيوجاز بغرض السماد مع البيوجاز كمنتج ثانوى.

التصميم الصينى يختلف عن التصميم الهندى. التصميم الصينى يحتوى على قبة ثابتة لجمع الغاز ولذا فإن الغاز المتاح يكون عند ضغوط متغيرة.

تكاليف التصميم أقل كثيرا والإنشاء أسهل. حيث يمكن القول أن ٢ متر مكعب من وحدة النوع الصينى يمكن أن تتكلف ١٥٠٠ جنيه بينما الهندى تتكلف ٣٠٠٠ جنيه لنفس الطاقة. القبة المثبتة تكون مصنوعة من الطوب والتى استبدلت الأسطوانة

الطافية فى التصميم الهندى. عموما، ضغط الغاز الذى يخرج من الوحدة الهندى هو حوالى ١٥ سم ماء بينما الضغط من الوحدة الصينى هو حوالى ٧٠سم ماء.

## ٤ - بعض المواد للغاز الحيوى ولكتلته الحيوية:

**Some Materials For Biogas And Biomass**

نعرض فى الآتى ثلاثة أنواع من النباتات البحرية التى تعتبر واعدة نحو إنتاج الكتلة الحيوية.

### ١ - ياقوت الماء (Water Hyacinth)

ياقوت الماء عبارة عن نبات مائى طافى والذى ينمو أساسا فى الأنهار والقنوات فى المناطق الحارة من العالم. ياقوت الماء هذا والذى يسمى أحيانا بمفهوم علوم النبات (Eichhonia Gassipes) هو واحد من أهم مصادر إنتاج البيوجاز بعد المخلفات الحيوانية. ياقوت الماء يزيل كلا من مواد الغذاء للنبات والمواد العضوية مباشرة من الماء خلال نظام الجذور الثمين الذى يمكن أن يزيد معدل المساحة السطحية له بحوالى ١٥ ٪ فى اليوم، منتجا ما لا يقل عن ٢٠ طنا من الوزن الصافى لكل هكتار فى اليوم. على أساس معدلات النمو المقاسة يقدر أن هكتارا واحدا من ياقوت الماء يمكنه إزلة مخلفات الفوسفور والنتروجين لحوالى ٨٠٠ شخص فى اليوم. مواد الغذاء المركزة هذه يمكنها عندئذ أن تزال بحصد ياقوت الماء وبذلك لتحقيق هدفين فى وقت واحد وذلك بتنقية الماء وتوفير الغذاء للكائنات الدقيقة التى تقوم بعملية التحلل والهضم لإنتاج البيوجاز.

ياقوت الماء يحتوى ٩٥ ٪ ماء و ٥ ٪ فقط من السيليلوز، اللجنين ... إلخ. نموه يزداد فى المناخ القارى (مثل الهند). وهو ينمو جيدا فى برك الصرف الصحى وبذا يحدث تنظيف للبركة . هو يمتص كثيرا من الماء، حيث يصبح الماء نادرا إذا لم يمكن تعويضه. ياقوت الماء يعطى من ٣٥٠ إلى ٤٢٠ وحدة حرارية / القدم المكعب من البيوجاز لكل كجرام من الوزن الجاف. وهو يمتص أملاح النحاس، الرصاص، الفضة، الكادميوم والكروميوم. البيوجاز المنتج من ياقوت الماء يكون محتواه عاليا من الميثان. بمجرد زراعته فى الماء فإنه يكون من الصعب إزالة آثاره . بجانب أنه غذاء جيد للكائنات الصغيرة، وكمادة سمادية، وكمنتج للبيوجاز فإنه ممتاز فى صناعة وإنتاج الورق.

**٢ – الطحلب : (Algae)**

الطحالب هى نبات وحيد الخلية ينمو بغزارة فى البحيرات، الخزانات ... إلخ. توجد أنواع كثيرة من الطحالب. بعضها يعتبر ممتازا كمادة غذاء نظرا لاحتوائها على البروتين (حتى ٥٠٪) . الطحالب تحدث فى البحار كذلك ولكن هذه الأصناف لا تعتبر من مصادر إنتاج البيوجاز نظرا لمعدل إنتاجها الضعيف. من بين طحالب الماء العذب، فإنه توجد أربعة أنواع ذات إنتاج مرتفع وهى (Spiruiina , Ulothoria, Scenedesmus , Chlorella) . أفضل طريقة لنمو الطحالب تكون فى البرك الضحلة. الطحالب يمكن إما أن تحرق مباشرة لإنتاج الطاقة الحرارية أو بالتخمر اللاهوائى لإنتاج الميثان. القيمة الحرارية المنخفضة المنتجة من الميثان هى من ٣٣٠٠ كيلو كالورى / لكيلوجرام من الطحالب الجافة.

**٣ – عشب البحر (Oceonkelp)**

عشب البحر هو نوع من النبات البحرى الذى ينمو فى المناطق الشاطئية وكذلك فى أعالى البحار. كفاءة التحويل للطاقة الشمسية تكون أعلا عن تلك للمحاصيل الأرضية. المغرى فى هذا الافتراض هو استخدام المساحات البحرية والتى ليس لها استخدام آخر. معدل الإنتاج يتراوح من ٣٠٠ إلى ٥٠٠ طن / الهكتار/ العام. العشب يمكن استخدامه فى إنتاج البيوجاز أو حرقه كوقود أو استخدامه لغذاء قطعان الماشية.

**٤ – أنوع معينة من الحشائش :**

بعض أنواع الحشائش سريعة النمو تستخدم كذلك فى إنتاج البيوجاز. ميزة هذه النباتات هى أنها تحتاج إلى مياه أقل مقارنة بالنباتات البحرية. (نبات الياقوت الأحمر، عشب البحر) . وثانيا فإنه يمكن حصدها من آن إلى آخر حيث تترك ما يبقى منه لينمو ثانيا. أنواع الحشائش لأحسن الإنتاج هى (Bangola Grass , Sudan Grass, Napier Grass) . بعد القطع يتم تجفيف الحشائش ودمجها لاستخدامها كوقود أو خلطها مع الماء لتكوين الردغة التى يتم بها تغذية هاضم البيوجاز.

## ٥ - الأشجار فى شكل الكتلة الحيوية : (Trees As Biomass)

المفهوم الثالث لاستخدام الطاقة الشمسية هى بزراعة أصناف من الأشجار سريعة النمو. يمكن عندئذ حرق الأخشاب للاستخدام فى الغلايات لإنتاج الطاقة. ميزة هذا النظام هى أنها تتطلب جهدا قليلا جدا وتكاليف قليلة. الخشب خالى عمليا من الكبريت ولذلك فإن الرماد الناتج عن حرق الأخشاب يمكن استخدامه كسماد.

**معدلات الإنتاج لأحسن الأشجار لإنتاج البيوجاز هى كالآتى :**

| النوع | الإنتاج (جاف) طن / الهكتار/ العام |
|---|---|
| حطب القطن | ٣,١ |
| نبات الصنوبر فى أرض فضاء مكسوة بالأغصان الميتة | ٣,٨ |
| الكونيفر (وهى شجرة من الصنوبريات) | ٥,٤ |
| شجر الجميز (Sycamore) | ١١,٢ |
| شجر (Eucalyptus) وهو نوع من الأشجار تستخدم ثماره وأوراقه طبيا | ٢٤,١ |

شجرة (Eucalyptus) ذات أهمية خاصة والتى لها معدل إنتاج عال جدا. هذه الشجرة يتم قطعها كمصدر للأخشاب مرة كل ثلاث سنوات والجذع ينمو ثانيا إلى نفس الحجم قبل القطع التالى. بالتقسيم المناسب للغابة وتصنيف الزراعة وتوقيتاتها يمكن أن يكون القطع مستمرا مع الإمداد المستمر بالأخشاب.

## ٥ - مميزات عيوب التحويل البيولوجى للطاقة الشمسية :

### ١ - المميزات :

أ - الاستثمارات الأولية منخفضة نسبيا مقارنة بالطرق الأخرى لاستخدام الطاقة الشمسية ، نظرا لعدم الحاجة لمعدات متطورة أو مكلفة.

ب- تقنيات استزراع النباتات بسيطة وتشبه الزراعة التقليدية؛ ولذلك فإنه يمكن استخدامها فى المناطق الريفية للدول النامية.

جـ- طرق إنتاج الطاقة ذات مستوى تلوث منخفض.

د - يمكن توزيع البيوجاز خلال خط مواسير للاستخدم المنزلى.

هـ- يمكن تعبئة الغاز فى أوعية حيث يمكن نقله للمستهلك.

### ٢ - السلبيات :

أ - المساحة الأرضية اللازمة كبيرة نسبيا حيث يتحكم فى هذه الطريقة مساحات الأراضى ذات الأسعار المرتفعة.

ب- تكلفة الطاقة المنتجة أعلا من المناطق الحضرية حيث توجد محطات توليد الطاقة المركزية.

جـ- نظرا لأن الغاز لا يمكن تسييله، فإنه توجد مشكلة تخزين حيث لا يمكن حفظه فى أوعية مثل أسطوانات البوتاجا المسال (L P G).

ولكن هذه العيوب يمكن التغلب عليها باختيار وتنمية أصناف ذات إنتاجية أعلا عن تلك المعروفة حاليا.

## استخدام البيوجاز:

المنتجان الرئيسيان لوحدة إنتاج الغاز هما الوقود من الغاز والسماد الطبيعى العضوى (Organic Manure). البيوجاز هو غاز قابل للاشتعال . غاز الميثان هو الجزء الوحيد القابل للاحتراق فى الغاز ولذلك فإنه حوالى ٦٠٪ بالحجم هو المستخدم فقط فى الحرق قيمته الحرارية هى حوالى ٦٠٠ وحدة حرارية / القدم المكعب أى (600 Btu / cu - ft - 17925 J / $m^3$). بالمقارنة، الغاز الطبيعى الذى هو خليط من

الميثان، البروبين، البيوتين له قيمة حرارية حوالى ١٠٠٠ وحدة حرارية / القدم المكعب (1000 Btu / cu - ft - 29874 J / m$^3$) . البيوجاز من الوحدة الصغيرة يمكن استخدامه فى طهى الطعام، وفى الإضاءة المنزلية كما يمكن استخدامه منفردا أو مع وقود الديزل فى محركات الاحتراق الداخلى لإنتاج الطاقة.

استخدام الغاز فى المواقد المنزلية هو أساسا لأغراض الطهى. تم تصميم مواقد منخفضة التكاليف بواسطة المهندسين. يلزم وجود فنية المشعل وللموقد ، والتى تتكون من ثقب فى حجم الإبرة (بقطر ٠,٥ مليمتر) والنهاية المقابلة تكون متصلة بخرطوم الإنذار بالغاز من الهاضم. بعد دخول البيوجاز الموقد أو المشعل، فإنه ينتشر إلى الخارج بسرعة عالية جدا حيث يصبح الهواء المحيط لمسار تدفق الغاز هذا منطقة ذات ضغط منخفض. لذلك، فإنه يتم سحب الهواء إلى غرفة الخلط خلال مداخل للهواء للخلط مع البيوجاز من غرفة الخلط يندفع خليط البيوجاز والهواء نحو فتحات لوح اللهب (Fire sieve Plate) للحرق. لمعان وقوة الحرق للموقد وللمشعل يتوقف على ضغط البيوجاز، نسبة الخلط للبيوجاز مع الهواء (حوالى ١ : ١٠) . مشعل البيوجاز يحتاج إلى قوة إضاءة حوالى ٦٠ وات من مكافئ الإضاءة الكهربية والتى يمكن أن تعمل لمدة من ٦–٧ ساعة فى حالة توفر متر مكعب واحد من الغاز. محرك بقوة واحد حصان يمكن أن يعمل لمدة ساعتين باستخدام متر مكعب من الغاز. هذه الكمية من الغاز يمكنها طهى ثلاث وجبات لأسرة من خمسة أفراد. درجة حرارة الغاز هى حوالى ٥٠٠°م.

كما ذكر سابقا يمكن استخدام البيوجاز فى محركات الاحتراق الداخلى. محركات الديزل الحالية يمكن تحويلها مباشرة إلى الاستخدام بالغاز، مع تعديلات بسيطة جدا، بما يوفر حوالى ٨٠٪ من وقود الديزل. يمكن خفض استهلاك زيت الديزل من خلال تطوير الابحاث.

يمكن إنتاج الكهرباء مباشرة باستخدام المادة العضوية الحيوية كمصدر للوقود فى خلية الوقود الكيماوى. الحيوى يتم حقن الهواء عند الكاثود كمؤكسد والمادة العضوية الحيوية (Bio - Organic) عند الآنون كوقود. الإلكتروليت هو عادة محلول عضوى أو مجال مائى مثل أيدروكسيد البوتاسيوم . البكتريا تخلق فقد جديد باستهلاك حوالى نصف الوقود. الاستهلاك ضرورى لاحتياجاتها الغذائية. خرج الطاقة الكهربية

لخلية وقود الكيمياء الحيوية يتناسب مع معدل الأيض (Metabolism) للبكتريا . من الممكن غسيل (Scrub) البيوجاز بالمعالجة بكربونات الصوديوم وغاز اليمثان. لقد أظهرت التجارب أن درجة حرارة لهب الغاز يمكن زيادتها حتى ١٠٠٠°م، وبذلك يستخدم فى ورش اللحام بالنحاس (Brazing).

المنتج الهام الآخر من وحدة إنتاج البيوجاز هو السماد العضوى الطبيعى. وهذا يأتى من المخرج فى شكل ردغة الغنية بالنتروجين والمادة العضوية (Humus). يمكن استخدامها مباشرة فى الحقل بخلطها مع مياه الرى، حيث يمكن تحقيق أقصى استفادة من هذا السماد الطبيعي؛ ذلك لأن المحتوى من النتروجين للردغة الطازجة يزيد عن ٢ ٪ وهو فى الحالة التى يمكن بها خلطه مع التربة بطريقة جيدة.

### ٦ - الخلاصة:

يمكن استخدام التأثيرات الضوئية الحيوية كمصدر للوقود، بطريقة مختلفة لإنتاج الميثان خلال استزراع الطاقة الشمسية. الفكرة الرئيسية هى باستخدام الطاقة الشمسية لإحداث التمثيل الضوئى فى النبات والذى يتم استخدامه فى وحدة إنتاج البيوجاز ثم لإنتاج الميثان. فى هذه الزراعات الشمسية يكون الهدف هو التحول الحيوى إلى غاز $CH_4$ ، ولذلك فإنه يتم البحث عن أقصى إنتاجية. الحشائش، الطحالب، ياقوت الماء (نباتات الماء الطافية) هى أمثله لمثل تلك النباتات الخضراء. الطحالب يمكن أن تنمو فى مياه الصرف الصحى المحملة بمواد الغذاء لإنتاج الميثان نتيجة لتخمرها. بذلك يمكن إنتاج الكهرباء بتكلفة قليلة، كذلك فإن هذه الطريقة يمكنها أن تحل مشكلة معالجة مياه الصرف الصحى فى المدن الكبيرة. يتم أولا حصد الطحالب التى نمت، ثم معالجتها لإنتاج حوالى ٥ ٪ من المواد الصلبة والباقى ماء. المادة الصلبة يتم تعرضها للتخمر اللاهوائى وبعد حوالى ثلاثة أسابيع، فإن نصف المادة العضوية يتحول إلى الميثان. هذا الميثان يمكن استخدامه كوقود منتظم لإنتاج الطاقة الحراية وبالتالى الكهرباء. عمليات الكتلة الحيوية يمكن تصميمها لإنتاج مواد صلبة (خشب ، فحم نباتى) سائلة (زيوت وكحولات)، غازات (ميثان وهيدروجين) أو كهرباء. العمليات المختلفة لتحويل الكتلة الحيوية إلى وقود مفيد هى الحرق المباشر، الهضم اللاهوائى، التحلل المائى (Hydrolysis)، التحلل الحرارى (Pyrolysis)، التحول إلى الحالة الغازية بالهدروجين (Hydrogasi Fication) والهدرجة (Hy-

drogenation) . من الطبيعى أن ما بين ١/٣ إلى ٢/٣ الطاقة فى الكتلة الحيوية تفقد أثناء عملية التحويل الحيوية والذى يمكن خلطة مع الجازولين. يمكن كذلك استخدام الطاقة الشمسية لزيادة خرج وحدة إنتاج البيوجاز (الهندى Gobac) وذلك باستخدام زجاجة الصوبة الزجاجية فوق الهاضم لحجز الطاقة الشمسية للتسخين . البيوجاز تزيد تكلفته عن الفحم بما يتطلب زيادة الأبحاث نحو اقتصاديات استخدامه .

# الفصل الثالث عشر

# التحويل الكهربى لحرارة المحيطات

# Oceon Thermal Electric Conversion

## ١ - مقدمة :

مفهوم الطاقة الحرارية للمحيطات كان قد اقترح منذ عام ١٨٨١ بواسطة الفيزيائى الفرنسى (Jacques d'Arsonval) . فى هذا الشكل غير المباشر للطاقة الشمسية عند البحار، فإن الجمع والتخزين يكون حرا. يعمل سطح الماء كجامع لحرارة الشمس بينما الطبقة العليا للبحر تشكل خزانا حراريا لانهائيا؛ لذلك فإن الحرارة الموجودة فى البحار والمحيطات والتى هى فى الأصل شمسية يمكن تحويلها إلى الكهرباء بالاستفادة بحقيقة أن الفرق فى درجة الحرارة بين سطح الماء الدافئ للبحار والمحيطات المدارية والمياه الباردة فى الأعماق هو من ٢٠ - ٢٥°م . يمكن استخدام المياه السطحية الدافئة لتسخين بعض السوائل العضوية ذات درجة حرارة الغليان المنخفضة، حيث البخار الناتج يمكن استخدامه فى تشغيل محرك حرارى (Heat Engine) . البخار الخارج يتم تكثيفه بضخ المياه الباردة من المناطق العميقة. كمية الطاقة المتاحة من الطاقة الحرارية للبحار ضخمة، وهى متجددة باستمرار. كثير من هذه المحطات تم إنشاؤه فى فرنسا بعد الحرب العالمية الثانية (أكبرها كان له طاقة ٧,٥ ميجاوات). مع الفرق فى درجات الحرارة ٢٢°م ما بين السطح والأعماق، مثل الموجود فى مناطق المحيطات الدافئة أكثر من بحر الشمال. كفاءة كارنو (Carnot Efficiency) هى حول ٧٪ . وهذه من الواضح أنها منخفضة جدا ، ومقارنة بتلك المتوقعة من جامع الطاقة ذى السطح المستوى. فى الواقع ، مع الوقت حدث هبوط فى الكفاءة الكلية باستخدام محرك عملى (يعمل طبقا لدورة رانكن) مع المبادلات الحرارية، الاقتراحات تبدو غير محققة للآمال. الفرق الكبير بين كلا مصدرى الحرارة هذه هو أن الطاقة الشمسية تصل إلى كثافة طاقة منخفضة وتتطلب مساحة

بالفدادين كبيرة لجامع السطح المستوى. بيما مصدر التدرج الحرارى على المحيط يمكن أن يعمل بمساحة صغيرة للجامع (Collector) بضخ الماء الكافى خلال الجامع الحرارى. فى الواقع، تقع جاذبية محطة الطاقة الشمسية البحرية على جدواها الهندسية الحالية، والتكاليف المنافسة المحتملة مع محطات الطاقة بالوقود الحفرى. كما تم ذكره فإن فكرة تحول الطاقة الحرارية للمحيطات باستخدام سائل التشغيل المناسب كان فى الأصل بواسطة (s'Arsonval) ولكن الجدوى التقنية لنظام الدورة المفتوحة كان بواسطة (Claude) مع إقامة منشأ على الساحل الشمالى لكوبا فى عام ١٩٢٩ . لقد كانت فكرة ملفتة فى ذلك الوقت. الطاقة الكهربية المولدة كانت ٢٢ كيلوات مع كفاءة كلية تزيد عن ١ ٪ وكل من الماء الساخن والماء البارد كان يتم دفعها خلال مواسير طويلة نحو المحرك على الشاطئ، مع محدودية التكنولوجى ورخص الوقود فى ذلك الوقت، فإنه كان هناك قليل من التوقعات نحو الجدوى الاقتصادية. منشأ ضخم من وحدتين بإجمالى ٧ ميجاوات تم إنشاؤه على ساحل العاج (Ivory Coast) بواسطة فرنسا فى عام ١٩٥٦ ، ولكنه واجه مشاكل وتم هجره.

عملية التحويل الكهربى لحرارة المحيطات تحتاج إلى أن كلا من الماء السطحى الدافئ والماء البارد من العمق (حوالى ١٠٠٠ – ١٥٠٠ متر) يتم إحضارهما قريبا من بعضهما البعض بحيث إنهما يعملان كمصدر للحرارة وكماص للحرارة على التوالى للمحرك الحرارى. بمعنى آخر ، الطاقة الشمسية التى جمعت وخزنت كحرارة بواسطة معظم محيطات العالم يمكن تحويلها إلى طاقة كهربية خلال عملية توليد تشبه تلك المحطة للطاقة التقليدية، عدا أنه فى حالة استخدام حرارة المحيطات فإنه يستخدم وقود غير ناضب. هذا بالإضافة إلى أنه يوجد تغير موسمى فى مصدر الحرارة من المحيطات عند مكان معين لمحطة إنتاج الطاقة الكهربية من مياه الحرارة المحيطية، إلا أنه يوجد تغير يومى. طبقا لمحطات الطاقة من المياه البحرية لتوليد الكهرباء التى تشبه محطة الطاقة الشمسية المائية فى أنها توهن الإشعاع الشمسى المتقطع اليومى، مقارنة ببدائل الطاقة الكهربية الأخرى . لذلك فإن هذه المحطات توفر مصدرا كبيرا ومتجددا للطاقة الكهربية ولو كان مكانه أساسا عند البحر.

رغم أنه من الممكن وجود مواقع أرضية جيدة حيث يمكن إقامة مثل هذه المحطات لتوليد الكهرباء، بإحضار كل من الماء الساخن والماء البارد عند الشاطئ خلال مواسير وقنوات، فإنه يبدو واضحا أن مثل هذه الفرص سوف تكون محددة على

المستوى العالمى مقارنة بالفرص المتاحة والوفيرة لتوليد كميات كبيرة من الكهرباء بواسطة حرارة المياه من المحيطات فوق الأرصفة البحرية الطافية. محطات الطاقة على الأرض يمكن أن تكون مناسبة أساسا فى الأماكن حيث ثلاث متطلبات متشابهة يلزم تحقيقها باقتصاديات مناسبة وهى :

١ - فى المنطقة الشاطئية حيث الأراضى تكون متاحة.

٢ - أن قاع البحر يجب أن يهبط سريعا بما فيه الكفاية بعيدا عن الشاطئ حيث مكان المحطة.

المتاح الموسمى من الماء الساخن والبارد بدون تدرج غير ضرورى بالمياه الخارجة الساخنة والباردة من المحطة يجب أن تحقق معايير معينة . فى أى الحالات ، يحتمل أن مكان المحطات المحتمل الجذاب سيكون على الشاطئ أو قريبا منه.

نظام توليد الطاقة الكهربية بالحرارة المائية للمحيطات ذات كفاءة قليلة كما سبق توضيحه. ولكن ، نظرا لأن متطلبات الطاقة (مثل ضخ المياه الباردة) فإن كفاءة التحويل النهائية هى فقط حوالى ٢,٥ ٪ (كفاءة كارنو ٧ ٪) . هذه تقارن كفاءة كلية ٣٠ - ٤٠ ٪ باستخدام محطات الطاقة التقليدية. ولكن نظرا لعدم وجود تكلفة الوقود حيث المطلوب هو لتدوير المياه الساخنة والباردة، مقارنة بالمحطات التقليدية. هذا يعنى أن مساحات كبيرة سوف تكون مطلوبة (عند المبادلات الحرارية) للدورة المقفلة والتى تستخدم سائل التشغيل مثل الأمونيا. وسوف يكون مطلوب تربين ضخم لمحطة الدورة المفتوحة التى تعمل بالتبخير الوميضى (Flash Evaporation) لمياه البحر. لذلك، رغم أن الكفاءة الكلية منخفضة إلا أن تكلفة الطاقة الكهربية المنتجة هى المحك.

## ٢ - مبدأ العمل لمحطات توليد الطاقة الكهربية بحرارة مياه المحيطات

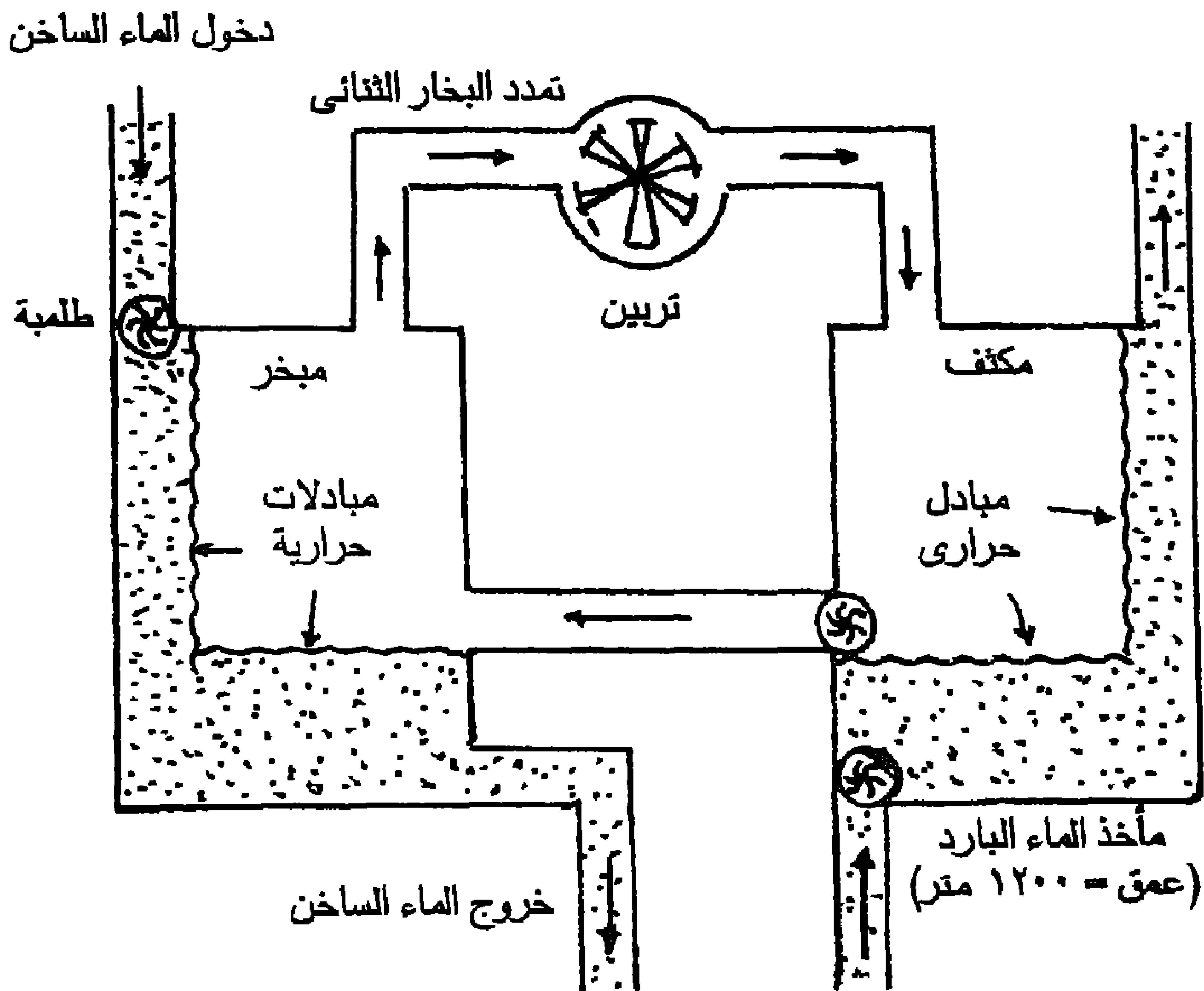
توجد طريقتان مختلفتان لحصد فروق الحرارة فى مياه المحيط - إحداهما هى دورة كلايد (Claude Cycle) أو الدورة المفتوحة والأخرى هو نظام الدورة المقفلة.

الدورة المفتوحة هى الأقدم، فهى تستخدم ضغط البخار لمياه البحر نفسه كمجال العمل وثبت أنها عملية. الطريقة الأخرى وهى الدورة المقفلة المعروفة بدورة رانكن، تستخدم سائلا ذا ضغط بخار أعلا (مثل الأمونيا، الهيدروكربون أو الهالوكربون) عند درجات الحرارة المتاحة. هذه الدورة مفضلة للتطوير المستقبلى

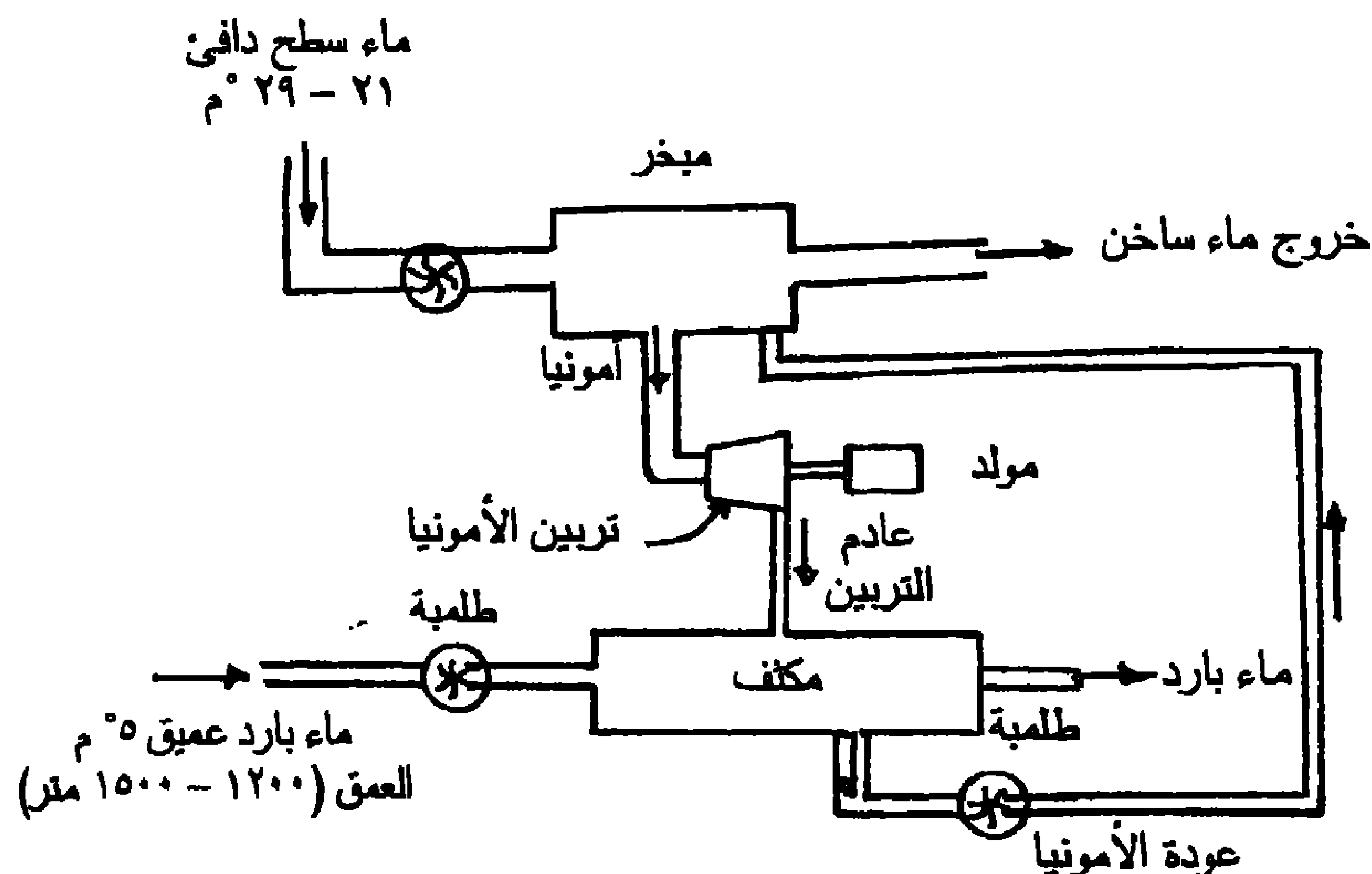
المتوقع لزيادة الكفاءة . أول عمل تم نشره بواسطة (d'Arsonval) عام ١٩٨١ ، حيث اقترح دورة مقفلة، والمادة المستخدمة كانت ثانى أكسيد الكبريت كسائل تشغيل . بينما الدورة المفتوحة بواسطة (Claude) فى عام ١٩٢٠ استخدمت ماء البحر حيث تم تبخيره تحت ضغط منخفض.

**٣ - نظام إنتاج الكهرباء بحرارة مياه المحيطات بالدائرة المغلقة :**

مخطط لمحطة طاقة كهربية تعمل بالدائرة المغلقة موضح فى الشكل (١٣/١) . المكونات الأساسية هى المبادل الحرارى المعروف بالمبخرات والمكثفات؛ نظرا لأنه يلزم مساحات كبيرة من المادة لنقل كميات كبيرة من الحرارة ذات النوعية المتدنية ذات فرق حرارة منخفض. بمعنى آخر ، فإنه يلزم تدوير أحجام ضخمة من المياه خلال محطة الطاقة، بما يتطلب مبادلات حرارية ضخمة. المكونات الحقيقية المستخدمة فى نظام الدورة المقفلة يبدو أنها كما فى الشكل (١٣/٢) حيث مخطط آخر للدورة المقفلة .




شكل (١٣/١) : مخطط لنظام الدائرة المقفلة




**شكل (١٣/٢) : مخطط لنظام الدائرة المقفلة بالأمونيا**

الاحتياج الأساسى فى نظام الدورة المقفلة هو كفاءة الانتقال الحرارى خلال أسطح المبادل الحرارى والتى تشمل المبخرات والمكثفات ، وذلك للحصول على قيمة عالية لمعامل الانتقال الحرارى الكلى (U) المقاسة بالوات / درجة الحرارة/ المتر المربع أو ($W / K^{\circ} - m^2$) . بالنسبة للتبخير، معامل الانتقال الحرارى هذا هو مقياس لمدى كفاءة الانتقال الحرارى من مياه البحر خلال مادة المبادل الحرارى (سبيكة معدنية) وبالتالى سائل التشغيل (مثل الأمونيا) . بالنسبة للمكثف ، فإن معامل الانتقال الحرارى الكلى هو من خاصية عملية الانتقال الحرارى العكسى.

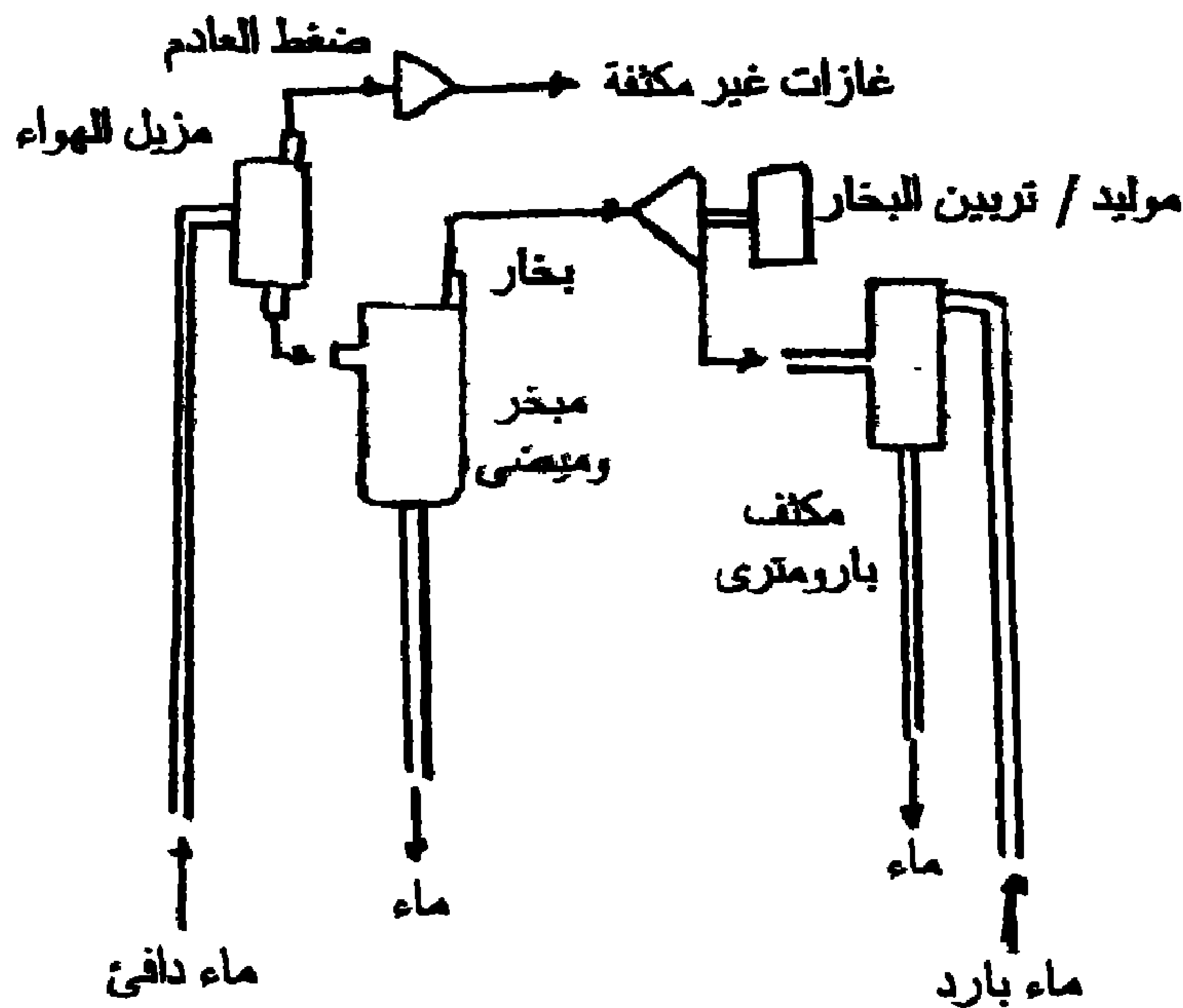
فى بيئة المحيط من المحتمل تراكم طبقة من العفن العضوى المعروفة باسم (Bio - Fouling) على جانب الماء للمبادلات الحرارية. مثل هذا العفن العضوى والذى يتكون أولا من الكائنات الحية الدقيقة حيث فى هذه المرحلة يسمى التراكم الحيوى (Bio - Fouling) أو التراكم الميكروبى. يلى ذلك فى حالة عدم إزالة هذه الطبقة فإنه يحدث التصاق لتراكم حيوى إضافى حيث تزداد طبقة العفن العضوى (Slimelayer) . حدوث التراكم العضوى يبدو أنه شرط لالتصاق الكائنات الحية الكبيرة (Macro - Organism) . طبقة تآكل واحتمال رواسب كلية (مثال ، المعدنية) يمكن كذلك أن تتراكم على جانب الماء لأسطح التبادل الحرارى.

هذا التراكم العضوى الكلى أو ترسيب المواد االكلسية يعمل على تثبيط الانتقال الحرارى خلالها.

لذلك فإنه يلزم إعاقة تكوين هذه الرواسب العضوية وإزالة ما يتكون منها . الازالة يمكن تنفيذها بنظافة أسطح المبادل الحرارى بطريقة دورية بالوسائل الميكانيكية أو الكيماوية أو بأى وسيلة أخرى .

## ٤ - نظام الدائرة المفتوحة (Open Cycle System)

الدائرة المفتوحة تعنى استخدام مياه البحر كسائل تشغيل (Working - Fluid)، حيث يتم التبخير الوميضى لماء البحر تحت تفريغ جزئى . البخار ذو الضغط المنخفض يتم مروره خلال تربين التى تستخلص الطاقة منه، ثم عندئذ يتم تبريد البخار العادم فى مكثف. هذه الدورة استمدت اسمها من حقيقة أن المكثفات لا تحتاج إلى العودة إلى المبخر كما فى حالة الدورة المقفلة. بدلا من ذلك فإن التكثف يمكن استخدامه كمياه خالية الملوحة فى حالة استخدام مكثف سطحى أو فى حالة استخدام مكثف الترزير (الالتصاق المباشر) يخلط المتكثف مع مياه التبريد والخليط يتم صرفه ثانيا إلى المحيط . مخطط للدورة المفتوحة موضح فى الشكل (١٣/٣) .

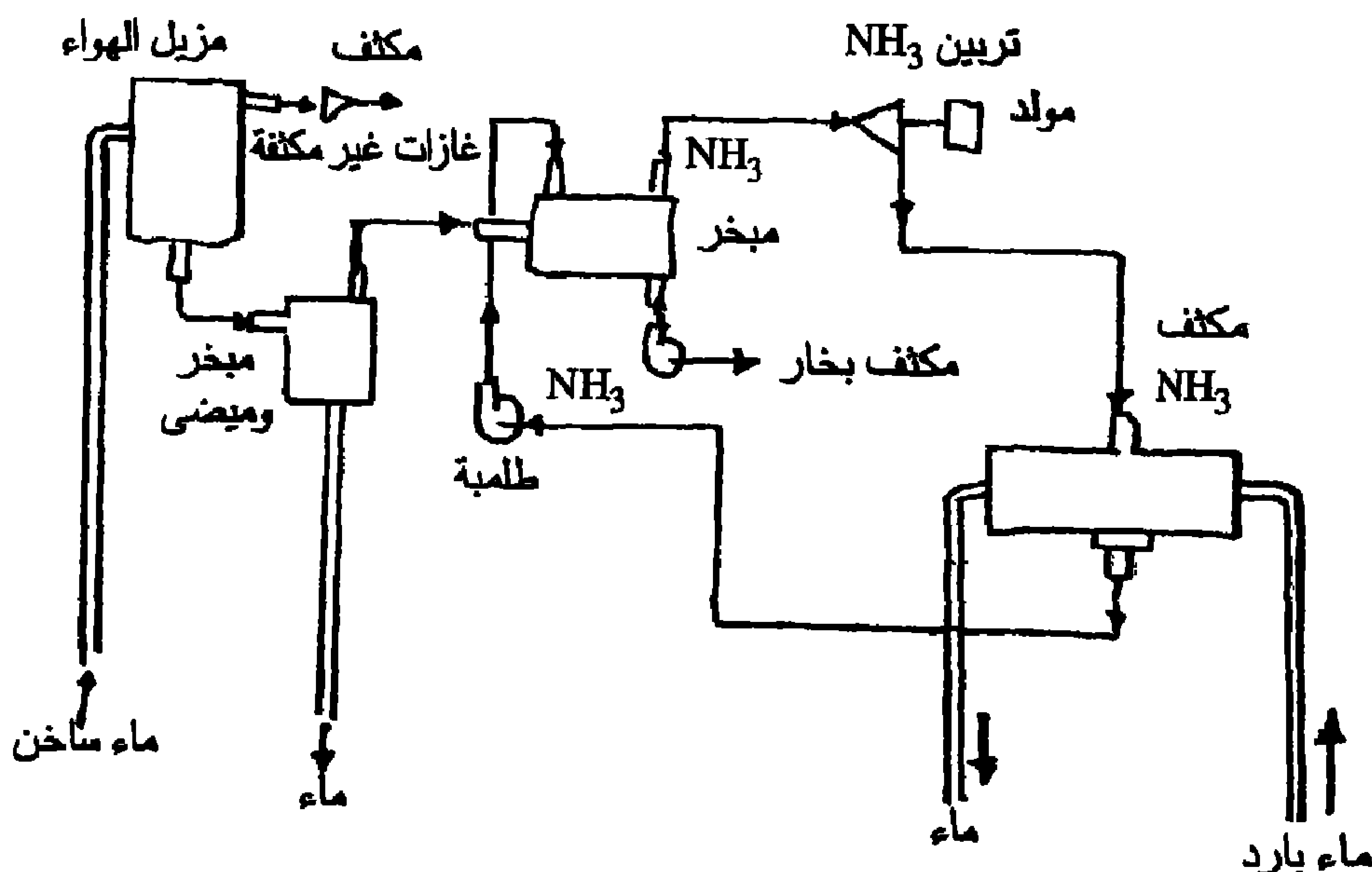



شكل (١٣/٣) : مخطط الدائرة المفتوحة

الدورة المفتوحة عادة يشار إليها لدورة كلايد (Claude Cycle). نظر للحاجة فى الدورة المفتوحة لاقتناص الطاقة فى البخار ذى الضغط المنخفض، فإنه يلزم استخدام تربينات ضخمة جدا (مقارنة بتربينات الرياح). هذا بالإضافة إلى أنه يلزم استخدام مزيل للغازات (أو مزيل للهواء) لإزالة الغازات المذابة فى ماء البحر باستثناء الرغبة لقبول فقد كبير فى الطاقة. على الجانب الآخر، حيث لا توجد مشاكل انتقال الحرارة فى المبخر، فإن مشكلة التحكم فى التراكمات من العفن العضوى تكون عند أدناها. تكاليف إنتاج الطاقة بالدائرة المفتوحة أكبر من نظام الدائرة المغلقة . تكلفة التربين تمثل تقريبا نصف تكلفة نظام الطاقةولكنها يمكن أن تقل تنتيجة للتطوير فى التصميم المستقبلى.

## ٥ - الدورة المختلطة (Hybrid Cycle)

توجد متغيرات عديدة نحو معيار نظام الدائرة المفتوحة. أحد هذه المتغيرات هو الدورة المهجنة أو المختلطة (Hybrid Cycle) والتى هى محاولة للجمع ما بين أفضل خصائص وتجنب الأسوأ لكل من الدائرة المفتوحة والدائرة المقفلة. أولا ، كما هو موضح فى الشكل (١٣/٤) ، حيث ماء البحر يتم تبخيره إلى البخار كما فى حالة الدورة المفتوحة. الحرارة فى البخار المنتج يتم عندئذ نقلها إلى الأمونيا فى نظام دورة رانكين المغلقة التقليدية.




شكل (١٣/٤) : مخطط للدورة المهجنة

### ٦ - الخلاصة :

فى دراسة مقارنة للدورات المقفلة (الأمونيا) ، المفتوحة (البخار) والمهجنة أظهر أن نظام الدورة المقفلة هو الأفضل من الناحية الاقتصادية والذى يحتاج إلى أقل طاقة طفيلية.

الدائرة المقفلة محببة بالنسبة للتطوير المستقبلى مع توقع كفاءة عالية، والذى لم يتم تطبيقه حتى الآن. مقارنة بطاقة الرياح فإن طاقة حرارة مياه البحار ينقصها التطوير . بالنسبة لطاقة الرياح فإن الطريقة المفضلة تمت تجربتها فى العديد من الدول خلال نصف القرن الماضى ولكنها لم تكن ذات عائد اقتصادى فى الدول حيث أسعار النفط المتدنية وحيث لم يتم تجربة استخلاص الطاقة الكهربية من مياه البحار. توجد تقارير تفيد بأن اليابان تخطط لتمهيد الطريق نحو التطوير الحقيقى وذلك بعمل الأبحاث خاصة بالنسبة للمواد، مشاكل تراكم العفن العضوى، التصميم.

# الفصل الرابع عشر

# طاقة الحرارة الأرضية

# (Geothermal Energy)

## ١ - مقدمة :

يعتقد بعض العلماء أن الأرض كانت كرة من اللهب وذلك منذ ملايين السنين قبل ظهور الحياة على الأرض . ثم بدأ السطح الخارجي يبرد بالتدريج بما يمكن من بدء الحياة. ولكن داخل الأرض يحوى كميات كبيرة جدا من الحرارة والتى مازالت محتجزة. عند استخلاص الطاقة من هذا المصدر فإن ذلك يسمى طاقة الحرارة الأرضية.

## ٢ - أصل وطبيعة طاقة الحرارة الأرضية :

فى قلب الأرض المنصهر، حيث تكون درجة الحرارة مرتفعة لتصل إلى ٤٠٠٠°م. فى هذا الفرن الحقيقى، يستمر إنتاج الطاقة الحرارية من خلال تحلل المواد المشعة خلال الداخل. لهذا السبب فإن بعض العلماء يشير إلى طاقة الحرارة الأرضية بأنها شكل من الطاقة النووية الحفرية (Fossil Nuclear Energy) . كذلك فإن الاحتكاك بواسطة حركة بلورة الألواح الضخمة فى الأرض فى شكل تشتت الطاقة للمد الشمسى والقمرى، كذلك يساهم فى الحرارة المحتجزة فى قلب الأرض.

يتكون جوف الأرض من اللب المركزى (Central Core) المنصهر المحاط بمنطقة من مادة شبه سائلة تسمى الغطاء (Mantle) شكل (١٤/١).




**شكل (١٤/١) : طبقات مختلفة لمقطع فى الأرض**

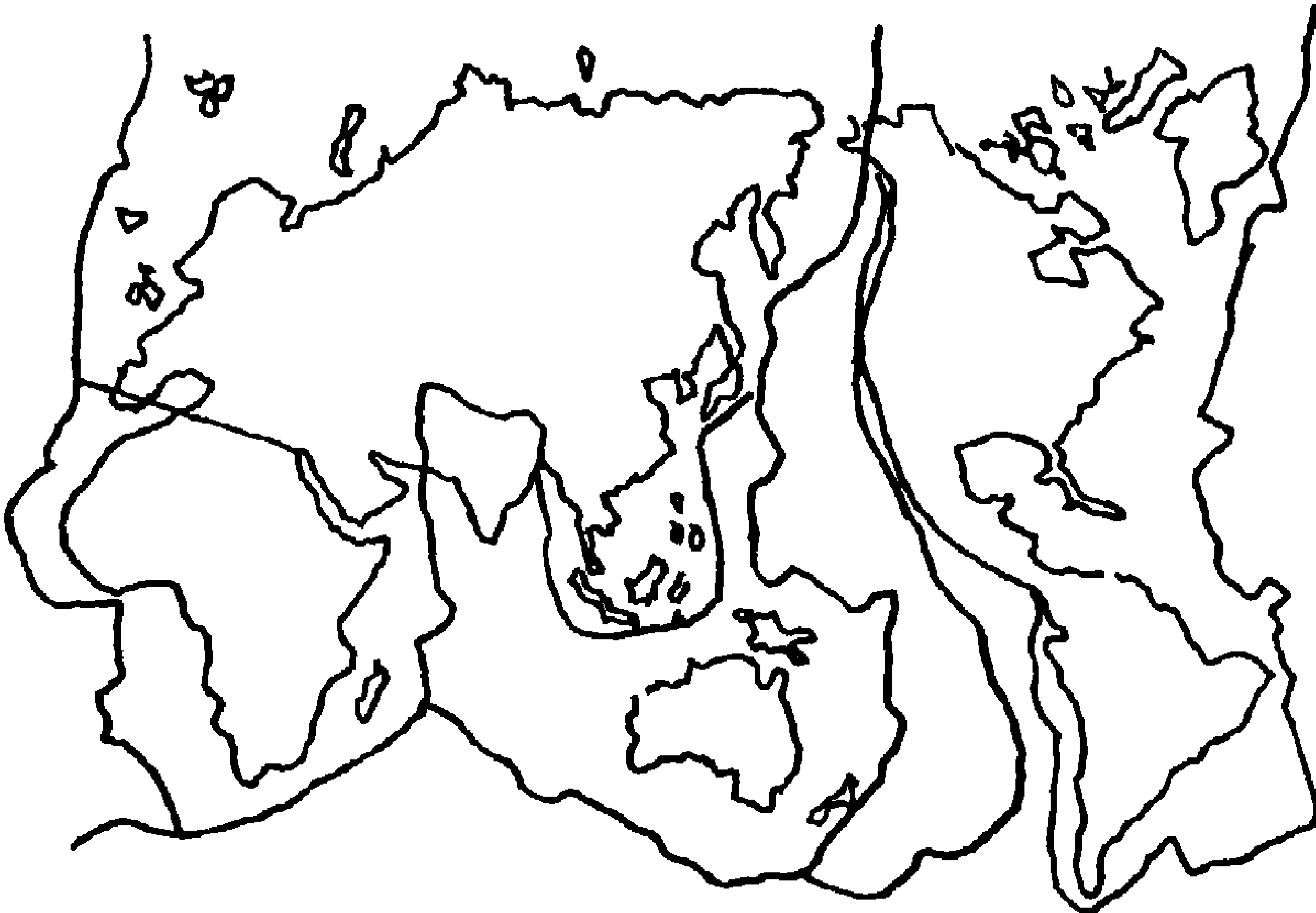
هذا الغطاء مغطى بالقشرة (Crust) والتى ذات عمق حوالى من ٣٠ إلى ٩٠ كيلومتر. درجة الحرارة فى القشرة تزداد بالنسبة للعمق بمعدل ٣٠°م لكل واحد كيلومتر. درجة الحرارة عند مستويات قاعدة القشرة (عند قمة الغطاء) عند قيمة حوالى ١٠٠٠°م، ثم تزداد ببطء حتى لب الأرض. فى المتوسط العالمى، تتدفق الحرارة خارج سطح الأرض بمعدل ٠,٠٦٣ $W/m^2$. بالمقارنة فإن المتوسط اليومى لتدفق الطاقة الشمسية الساقطة على الأرض هو ٢٠٠ $W/m^2$، والذى يزيد عن ٣٠٠٠ ضعف أعلا من تدفق الحرارة الأرضية . لذلك فإنه إذا كان متوسط التدفق الحرارى القادم من الأرض هو كل المتاح فإنه لا يمكن الاستفادة منه . كذلك لا يمكن استخلاص الطاقة من قاعدة القشرة الأرضية نظرا لكونها عميقة جدا. ولكن لحسن الحظ توجد المناطق التى فيها الصخور الساخنة المنصهرة من الغطاء (Mantle) والتى تسمى الماجما (Magma) ، قد اندفعت إلى أعلا خلال التشققات والتصدعات قريبا من السطح، حيث أوجدت نقطا ساخنة (Hot Spots) خلال من ٢ إلى ٣ كيلو متر من سطح الأرض.

نحن نرى شواهد تلك النقط الساخنة فى ثورات البراكين، الينابيع الحارة (Geysers) ، ثقوب الطين ذات الفقاقيع (Bubbling Mud Holes) . فى الواقع المنطقة ذات الموقع المحتمل للحرارة الأرضية تقابل إلى حد ما منطقة الزلازل والنشاط البركانى كما هو موضح فى الشكل (١٤/٢).



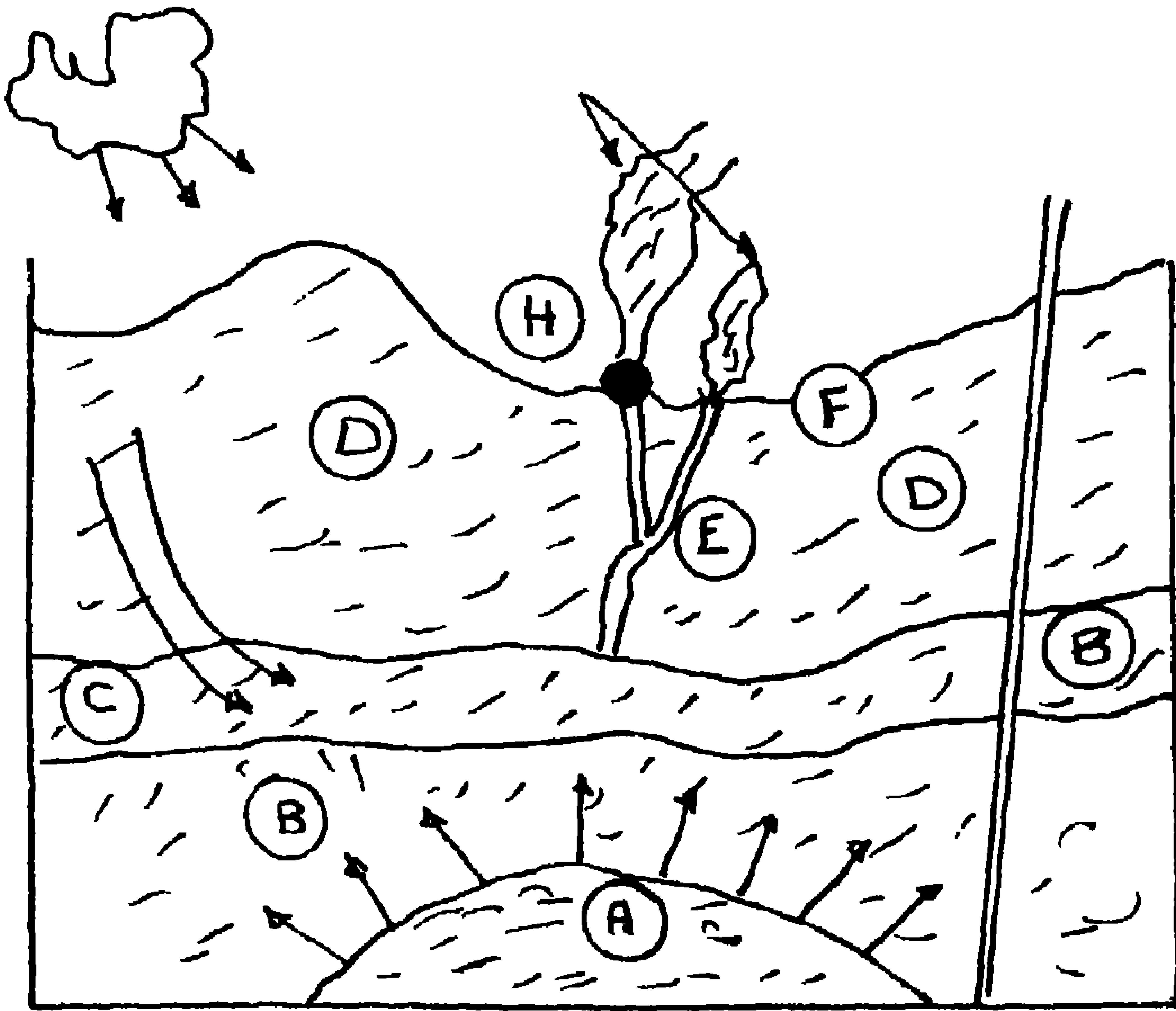
**شكل (١٤/٢) : المواقع الحرارية الأرضية**
**والتى هى مناطق الزلازل والنشاط البركان**

هذه المناطق هى وصلات الألواح التكتونية أى المعالم التى تطرأ على القشرة الأرضية (Tectonic Plates) التى تشكل القشرة الأرضية شكل (١٤/٣) .



**شكل (١٤/٣) : وصلات الألواح التكتونية**
**التى تطرأ على القشرة الأرضية**

هذه الألواح تكون فى حالة حركة ثابتة نسبيا (بمعدلات عدة سنتيمترات فى العام). حيث تتصادم أو تتطاحن، فإنه توجد قوى شديدة جدا التى يمكن أن تبنى جبالا أو تسبب الزلازل. قريبا من الوصلات لتلك الألواح أو الصفائح حيث تتحرك الحرارة بسرعة كبيرة من الداخل خلال المواد المنصهرة تحت السطح (Subsurfce Magma) إلى البراكين السطحية. معظم أماكن الحرارة الأرضية فى العالم توجد قريبا من أطراف اللوح الباسيفيكى (Pacific Plate) الذى يسمى بحلقة اللهب (Ring Of Fire). الشكل (١٤/٤) يوضح نموذجا لحقل حرارة أرضية.




شكل (١٤/٤) : نموذج لحقل حرارة أرضية

الكتلة المنصهرة الحارة (Hot Magma) قرب السطح (A) تتجمد حيث تتحول إلى صخور نارية (Igneous Rock) (B). مثل هذه الصخور النارية تتكون بفعل الأداء البركانى أو الحرارة العالية. (الصخور النارية التى توجد عند السطح تسمى

صخر الأداء البركانى). حرارة الكتلة المنصهرة (Magma) تسرى إلى أعلا نحو هذا الصخر النارى. المياه الجوفية التى تجد طريقها إلى أسفل نحو هذا الصخر خلال التشققات الموجودة فيه، سوف تسخن وترتفع درجة حرارتها بواسطة حرارة الصخر أو بالخلط مع الغازات الساخنة والبخار المنبعث من الكتلة المنصهرة (Magma). الماء الساخن عندئذ سوف يرتفع إلى أعلا نحو الخزان المسامى وذى النفاذية (C) فوق الصخر النارى. الخزان يكون له غطاء بطبقة من الصخر الصلب المانع للتسرب (D) والذى يحجز الماء الساخن فى الخزان. ولكن الصخر الصلب به تشققات (E) والتى تعمل كتنفيث للغلاية الضخمة تحت الأرض. هذا التنفيث يظهر على السطح كعيون حارة بالتنفيث البركانى (Geysers Fumarols) (F) (البخار يتم تصريفه باستمرار خلال التشققات فى التربة ، هذه التصريفات تسمى تنفيثا بركانيا (Fumarols) أو الينابيع الحارة (Hot Springs) (G). البئر (H) مأخذ البخار من التشققات للاستخدام فى محطات الطاقة من الحرارة الأرضية.

يمكن ملاحظة أن بخار الحرارة الأرضية (Geothermal Steam) هو من نوعين – ذلك الذى مصدره المادة المنصهرة نفسها (Magma)، والذى يسمى البخار المغناطيسى (Magnetic Steam) ، وذلك من المياه الأرضية التى تم تسخينها بواسطة الماجما والذى يسمى بخار نيزكى (Meteoritic - Steam). الأخير هو المصدر الأكبر لبخار الحرارة الأرضية. ليس كل مصادر الحرارة الأرضية تنتج بخارا كما تم وصفه سابقا. البعض يكون له درجة منخفضة بحيث الموجود فقط هو الماء الساخن. البعض لا يستقبل المياه الجوفية مطلقا ويحتوى على صخر ساكن فقط.

**مصادر الحرارة الأرضية لذلك تكون من ثلاثة أنواع وهى :**

(١) حرارى مائى (Hydrothermal) .

(٢) الانضغاط الأرضى (Geopressured) .

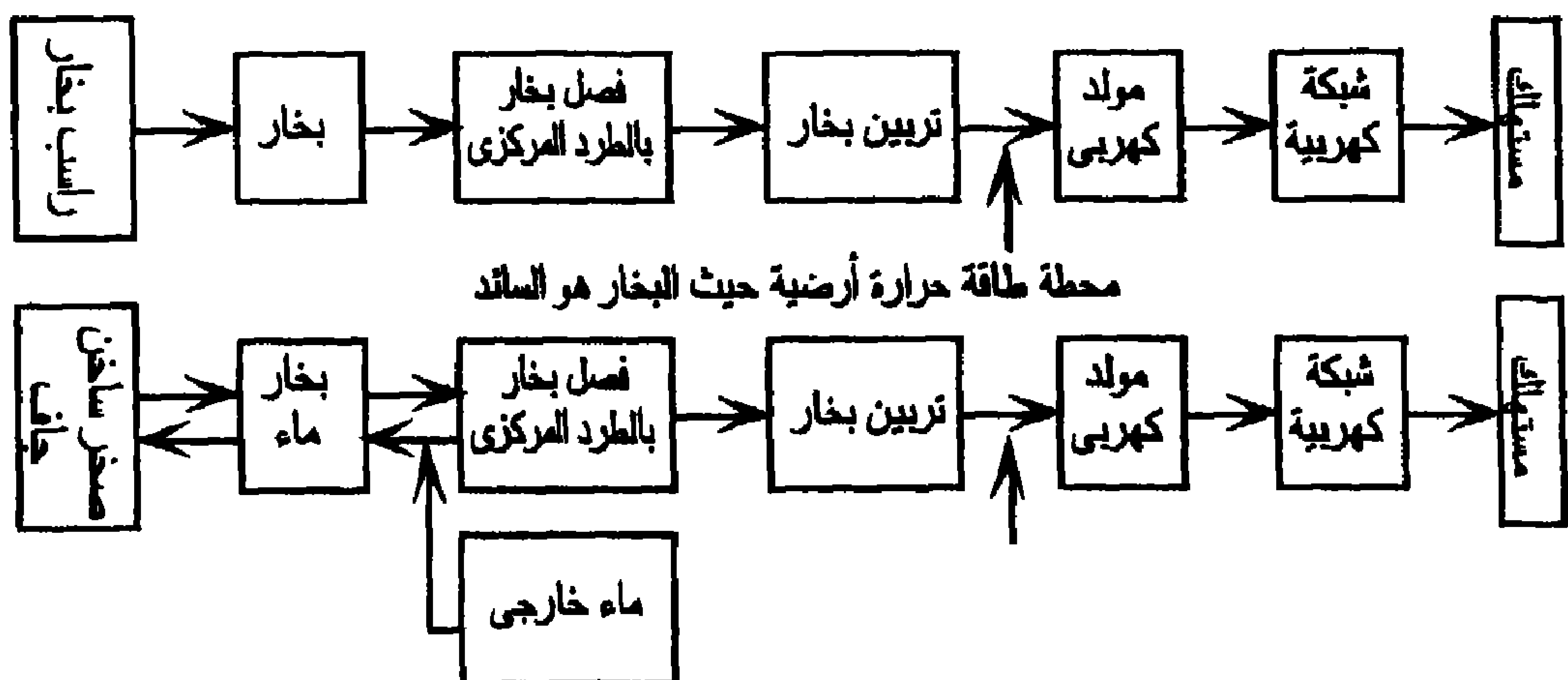
(٣) الحرارة من الصخور (Petrothermal) .

وهذه الأنواع سيتم شرحها لاحقا.

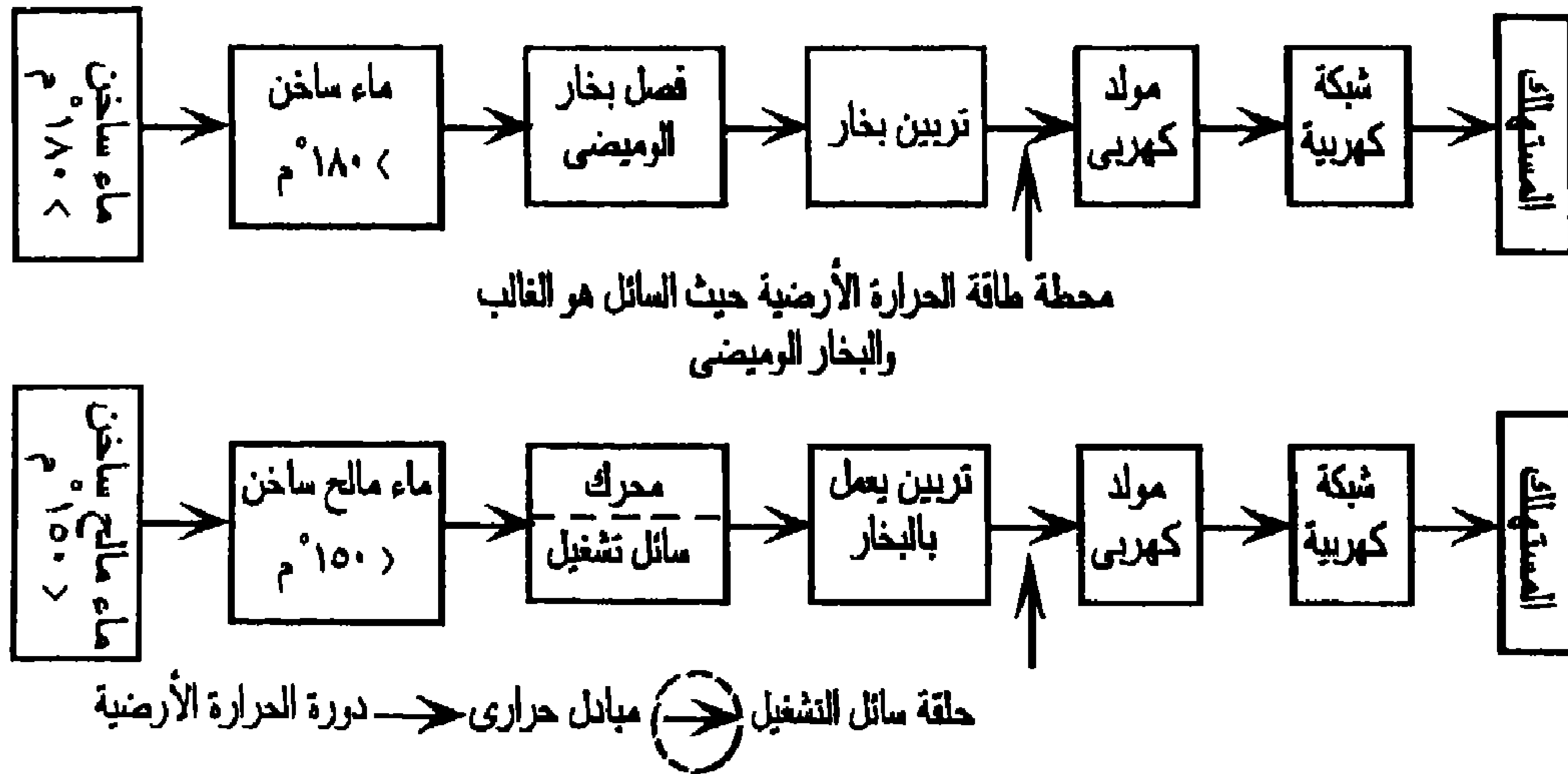
الكمية الكلية للطاقة فى العشرة كيلومترات الخارجية للقشرة الأرضية تزيد كثيرا عن تلك الناتجة عن حرق الفحم، الزيت، الغاز الطبيعى. ولكن ، حاليا نسبة صغيرة

نسبيا فقط من طاقة الحرارة الأرضية فى الخزانات الرطبة (خزان الحرارة الأرضية يعرف بالمنطقة حيث يوجد تركيز للحرارة القابلة للاستخراج) ، يمكن اعتباره مفيدا من الناحية الاقتصادية. ومع ذلك ، فإن هذه الكمية كبيرة بما يمكن من المساهمة الكبيرة فى مصادر الطاقة. مع التقدم فى التكنولوجيا فإن جزءا من مصادر الطاقة الحرارية الأرضية يمكن أن يصبح متاحا. من هذه النقط الساخنة (Hot Spots)؛ ولكن سوف تصبح قابلة للاستخدام فقط عند تطوير تكنولوجيا الاستخراج. رغم أن كمية الحرارة الأرضية خلال الأرض غير محدودة ،إلا أن طاقة الحرارة الأرضية مفيدة فقط فى مواقع معينة.

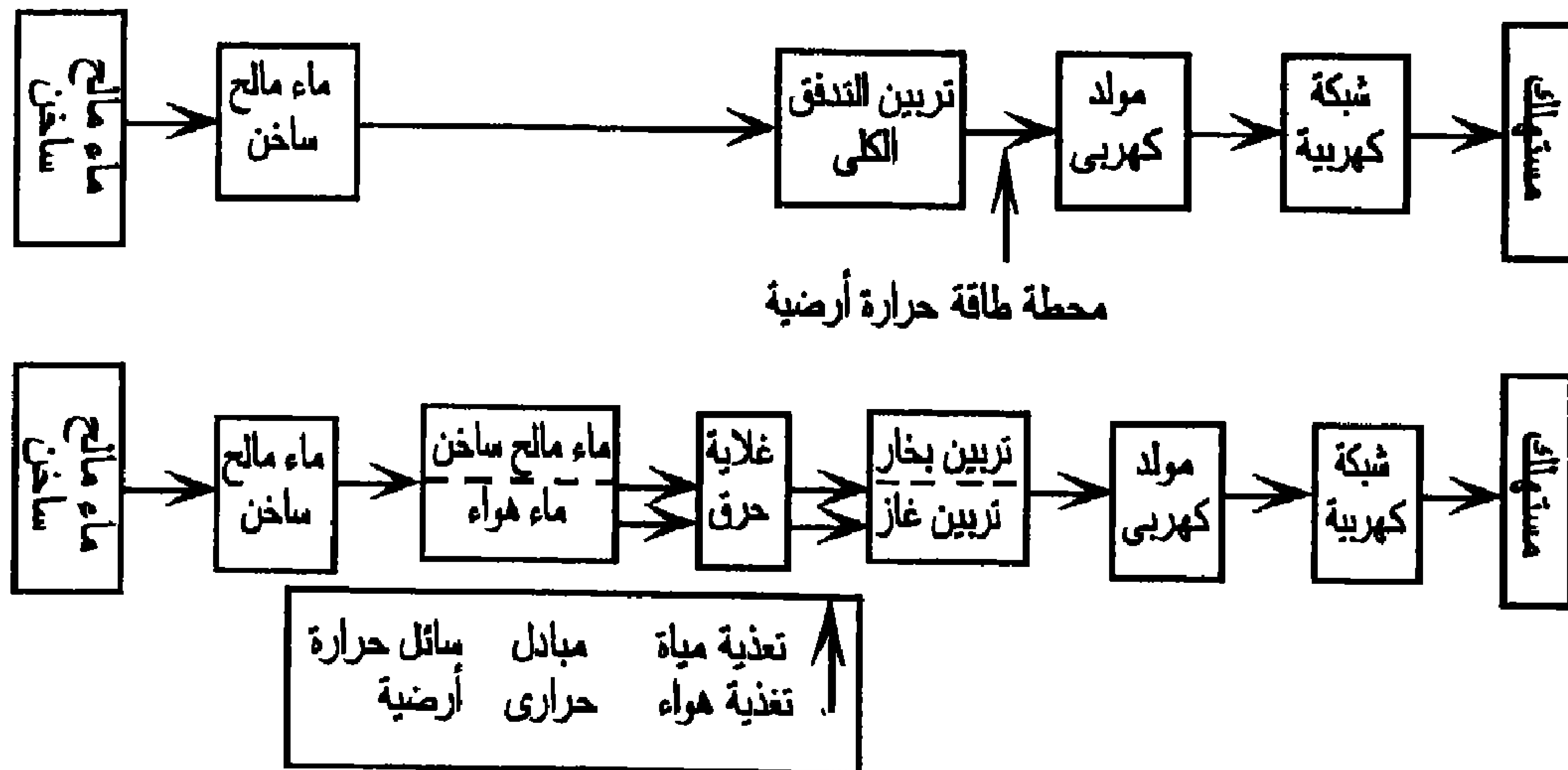
يقدر أن سمك القشرة الأرضية حوالى ٣٥ كيلومترا والتى تغطى مساحة مقدارها كيلومتر مربع فقط تحتوى حوالى (263 I E J) وأن إجمالى الطاقة السنوية للعالم هى حوالى (370 E J). على هذا الأساس مساحة واحد كيلومتر من سطح القشرة الأرضية تحتوى على طاقة تكفى لتوفير ٦ ٪ من إجمالى الطاقة المستهلكة على مستوى العالم سنويا. لقد قدر أن حوالى ٤٠ – ٥٠ ٪ من كل الحرارة المطلوبة بواسطة المجتمع هى أقل من ٢٠٠°م . ٣٠ ٪ حرارة مطلوبة عند ١٥٠°م ، ٢٠ ٪ عند حوالى ١٠٠°م؛ لذلك، فإنه يوجد مجال كبير لاستخدام طاقة الحرارة الأرضية للاستخدامات ذات درجة الحرارة المنخفضة . الأشكال (١٤/٥) و(١٤/٦) و (١٤/٧) مخططات لمختلف محطات الطاقة التى يمكن إنشاؤها من مصادر الحرارة الأرضية.




شكل (١٤/٥) : محطة طاقة حرارة أرضية صخرية




**شكل (١٤/٦) : محطة طاقة حرارية أرضية بالسائل السائد والدورة المزدوجة**




**شكل (١٤/٧) : محطة طاقة تقليدية بالحرارة الأرضية المختلطة**

إجمالى محطات إنتاج الطاقة فى العالم حاليا هو حوالى ٦٠٠٠ ميجاوات كما فى الجدول (١/١٤) التالى ، وهى تعتبر كمية صغيرة عند الأخذ فى الاعتبار أن محطة إنتاج طاقة نووية واحدة يمكن أن تزيد عن هذا المقدار فى مستوى إنتاج الطاقة.

جدول (١٤/١) قدرات إنتاج الطاقة الحرارة بالميجاوات فى العالم

| الدولة | الاستخدام | |
|---|---|---|
| | فى غير الكهرباء | فى الكهرباء |
| ١ | ٢ | ٣ |
| الجزائر | ١٣ | — |
| أستراليا | ١١ | — |
| بلجيكا | — | ٣ |
| بلغاريا | ٢٩٣ | — |
| كندا | ٢ | — |
| الصين | ٢١٤٣ | ٢٠,٩ |
| كولومبيا | ١٢ | — |
| كوستاريكا | — | °٥٥ |
| تشيكوسلوفاكيا | ١٠٥ | — |
| الدانمرك | ١ | — |
| أثيوبيا | ٣٨ | — |
| السلفادور | — | ٩٥ + °٢٠ |
| فرنسا | ٣٣٧ | ٤,٢ |
| المانيا | ٨ | — |
| اليونان | ١٨ | ٢ |
| جواتيمالا | ١٠ | — |
| المجر | ١٢٧٦ | — |
| أيسلاند | ٧٧٤ | ٤٤,٦ |
| أندونيسيا | ١٤٢,٣ | — |
| إيطاليا | ٣٢٩ | ٥٤٥ + °١٦٠ |
| اليابان | ٣٣٢١ | ٢١٤,٦ + °٥٥ |

| ١ | ٢ | ٣ |
|---|---|---|
| كينيا | ٤٥ | — |
| المكسيك | ٢٨ | ٧٠٠ + ٥٠° |
| نيوزيلاند | ٢٥٨ | ٩٣ + ٢° |
| نيكاراجوا | — | ٣٥ |
| الفلبين | ١ | ٨٩٤ + ١١٠° |
| بولندا | ٩ | — |
| رومانيا | ٢٥١ | — |
| سويسرا | ٢٣ | — |
| تايوان | ١١ | — |
| تونس | ٩٠ | — |
| تركيا | ٢٤٦ | ٢٠,٦ |
| المملكة المتحدة | ٢ | — |
| الاتحاد السوفيتى السابق | ١١٣٣ | ١١ + ٥٠° |
| يوغوسلافيا | ١١٣ | — |
| الإجمالى | ١١٦٠٥ | ٥٦٥٣,٢ ٥٠٢° |

العلامة ° تعنى تحت الإنشاء

### ٣ - استخلاص الطاقة :

مصادر الحرارة الأرضية تكون فى ثلاثة أنواع :

المصدر ذو النوعية العالية حيث درجة حرارته أعلا من ١٥٠ °م ويفيد فى توليد الكهرباء، المصدر ذو النوعية المتوسطة حيث درجة حرارته ما بين ٩٠°م ، ١٥٠°م والذى يمكن استخدامه مباشرة فى التدفئة المنزلية أو فى العمليات الصناعية، والنوع الأخير من المصادر والذى درجة حرارته أقل من ٩٠°م وعموما، لا يستحق الاستكشاف. لتكون مفيدة فإن هذه المصادر يجب أن تكون عند أعماق أقل من ٦ كيلومترات.

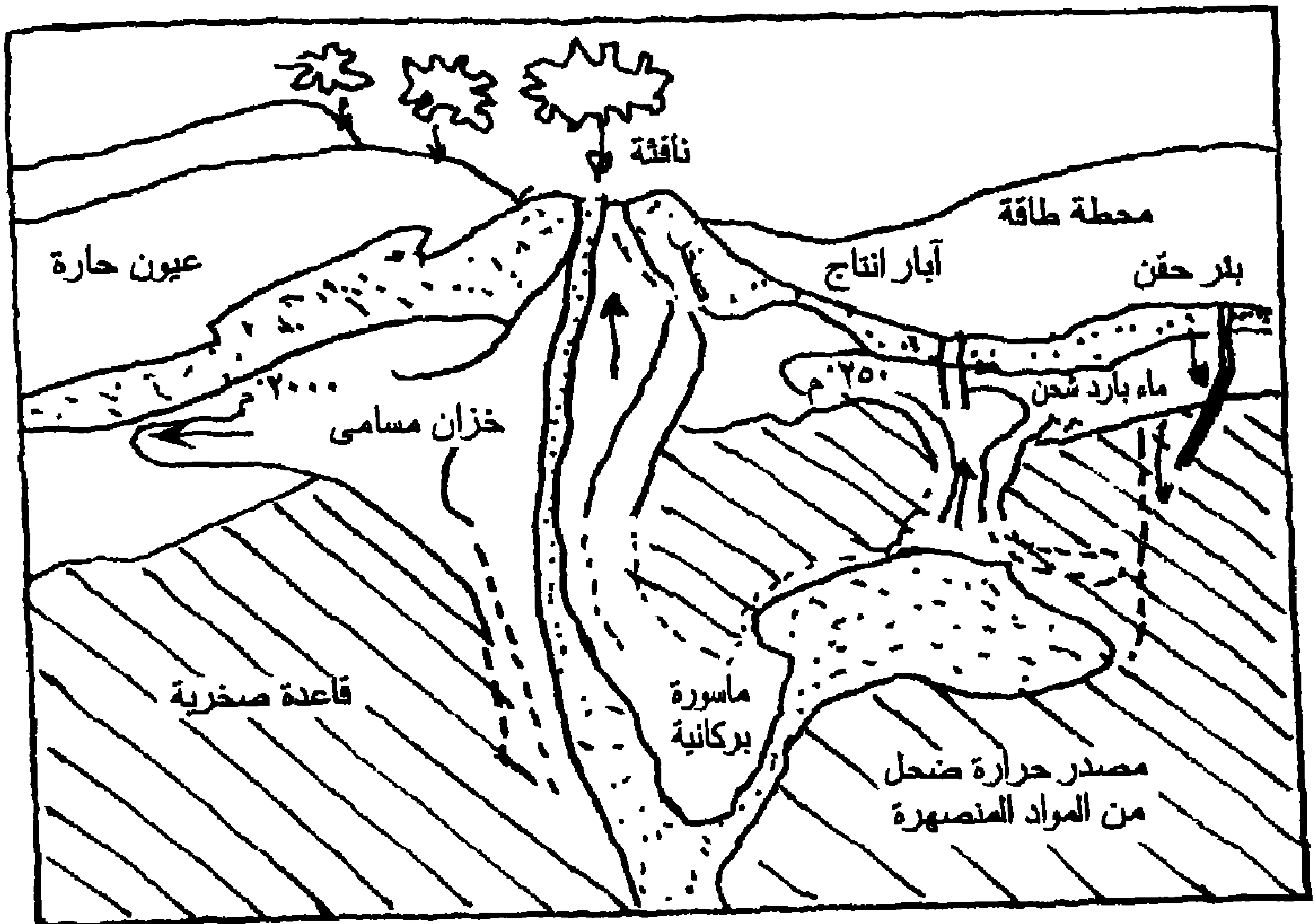
احتياطيات الحرارة الأرضية تنقسم كذلك على أساس وجود أو عدم وجود خزانات المياه الطبيعية فى الحرارة الأرضية (Natural Water - Geothermal Aquifers) . حيث يوجد الماء مصاحبا للطاقة الحرارية الطبيعية البللورية. والنوع

الآخـر هو ذلك النوع حـيث الصـخـر الجـاف السـاخن يكون مـوجـودا بدون الماء . استكشاف مناطق الماء الساخن فى الخزانات الجوفية الحرارية قد وصل إلى المرحلة التجارية بينما الطاقة من الصخر الساخن الجاف مازالت فى مرحلة التجارب.

## ٤ - خزانات المياه ذات الطاقة الحرارية الأرضية - بالمحتوى الحرارى العالى

## High - Enthalpy Geothermal Aquifers

التكوينات البركانية حيث الخزانات ذات درجة الحرارة العالية تكون مصاحبة مع التكوينات الصخرية من البازلت والأنواع الأخرى هى مناطق هامة لهذا النوع. استكشاف هذه الخزانات يحتاج إلى دراسات حقلية متكاملة مثل الجيولوجية، الهيدرولوجية، الكيمياء الأرضية، طبيعة التربة. على أساس تلك الدراسات يتم عمل لتدرج الحرارة لإعادة استكشاف هذه الخزانات لإنتاج الطاقة. السوائل الساخنة التى يتم ضخها من الخزان يتم انطلاقها إلى تربينات توليد الكهرباء. السوائل الساخنة الزائدة يتم حقنها فى الخزان خلال آبار الحقن. مخطط لوجود واستكشاف الخزانات الحرارية الأرضية موضح فى الشكل (١٤/٨).




شكل (١٤/٨) : مخطط لوجود واستغلال للخزان الجوفى الحرارى ذى درجة الحرارة العالية

**٥ - الخزانات ذات المحتوى الحرارى المنخفض : (Low - Enthalpy Reserves)**

الخزانات الجوفية حيث درجة حرارة الماء أقل من ١٠٠°م تصنف كخزانات جوفية ذات درجة الحرارة المنخفضة. هذه موجودة بوفرة فى الطبيعة وذلك لمقارنة بالخزانات الجوفية ذات المحتوى الحرارى العالى. الخزانات ذات درجة الحرارة المنخفضة توجد أساسا فى الأحواض الرسوبية. لقد قدر أن ما يزيد عن ٣٠٪ من الاستهلاك العالمى للطاقة هو عند درجة حرارة أقل من ٨٠°م.

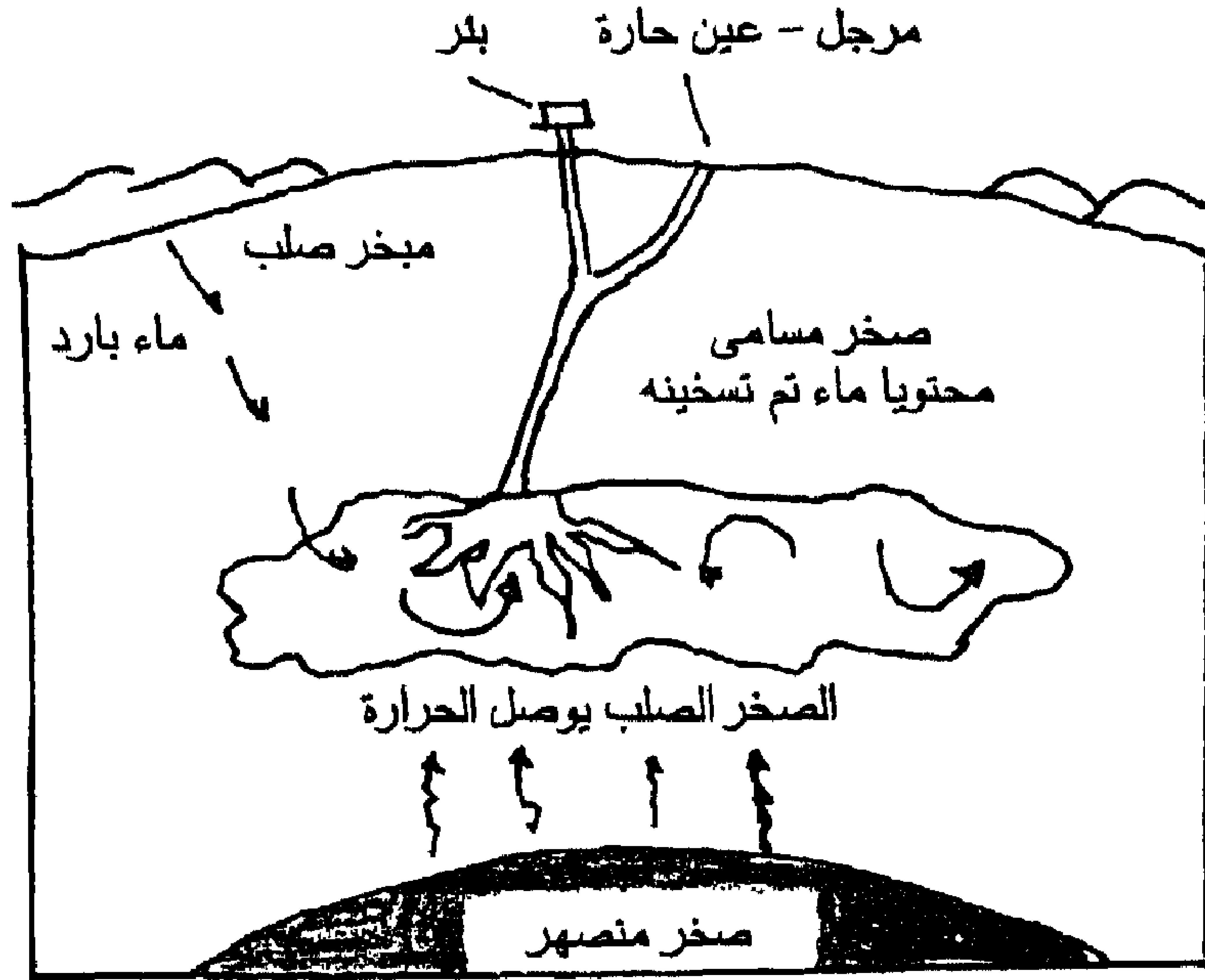
**الصخور الجافة الساخنة عالية النوعية**

**(H D R) (High - GradeHot Dry Rock)**

مصادر الصخور الجافة الساخنة توجد بوفرة، فهى فى الولايات المتحدة تكافئ ١٩١,٩ × ١٠ ١١ برميل من خام زيت البترول. بعض مصادر الصخر الجاف الحار يمكن تمييزها من السطح، كما فى حالة الينابيع الحارة والعيون الحارة حيث النشاط الحرارى المائى يظهر عند السطح. ولكن ، مكونات الحرارة المائية هى فقط حوالى ٣,٤٪ من إجمالى محتوى الطاقة تحت سطح الأرض، الباقى من الطاقة يمكن استخلاصة بحقن المياه نحو الخزان الصخرى الجاف الساخن.

**٦ - نظام البخار الرطب : Wet Steam System**

عند حجز الماء فى خزان جوفى وتسخينه بواسطة الصخور المحيطة، فإنه يكون تحت ضغط عال جدا ويمكن أن يصل إلى درجات حرارة حتى ٣٧٠°م بدون غليان. فى حالة التحرر لهذا الماء الساخن نحو السطح، فإنه يتبخر ويتحول إلى بخار الماء ذلك بسبب الانخفاض الخارجى للضغط والذى أقل كثيرا عن الضغط اللازم للمحافظة على الماء فى الحالة السائلة. الأماكن حيث يهرب البخار خلال التشققات نحو السطح تسمى نافثة بركانية (Fumarole) . فى بعض خزانات الحرارة الأرضية ، تتسرب المياه الساخنة نحو السطح ، مكونة عيونا حارة أو ينابيع. آبار الحرارة الأرضية تحصد حقول البخار الرطب شكل (١٤/٩) . مع ارتفاع الماء الساخن فى البئر، فإنه يحدث له وميض (Flashes) إلى خليط بنسبة حوالى جزء واحد بخار، أربعة أجزاء ماء ساخن . يتم فصل البخار من الماء ويستخدم لتشغيل التربينات لتوليد الكهرباء. الماء الساخن يمكن أن يستخدم فى التسخين المباشر أو فى وحدة إزالة الملوحة.




**شكل (١٤/٩) : نموذج لنظام حرارة أرضية بالماء الساخن، حيث التوصيل الحرارى من الصخر يوصل الحرارة إلى الماء داخل مسام الصخر والذى يهرب نحو السطح خلال الشقوق**

**٧ - نظام البخار الجاف : (Dry Steam System)**

حقول الحرارة الأرضية للبخار الجاف تحدث عندما يكون الضغط ليس أعلا من الضغط الجوى كثيرا ودرجة الحرارة تكون مرتفعة. فى هذه الحالة ، فإن الماء يغلى تحت سطح الأرض ويولد بخارا عند درجات حرارة حوالى ٣٥٠°م وضغوطا عند حوالى ١٠٠ رطل / البوصة المربعة. البخار الخارج من مثل بئر الحرارة الأرضية هذا يمكن استخدامه مباشرة لتشغيل التربين.

# الفصل الخامس عشر

# طاقة المد والجزر

# (Tidal Energy)

## ١ - مقدمة :

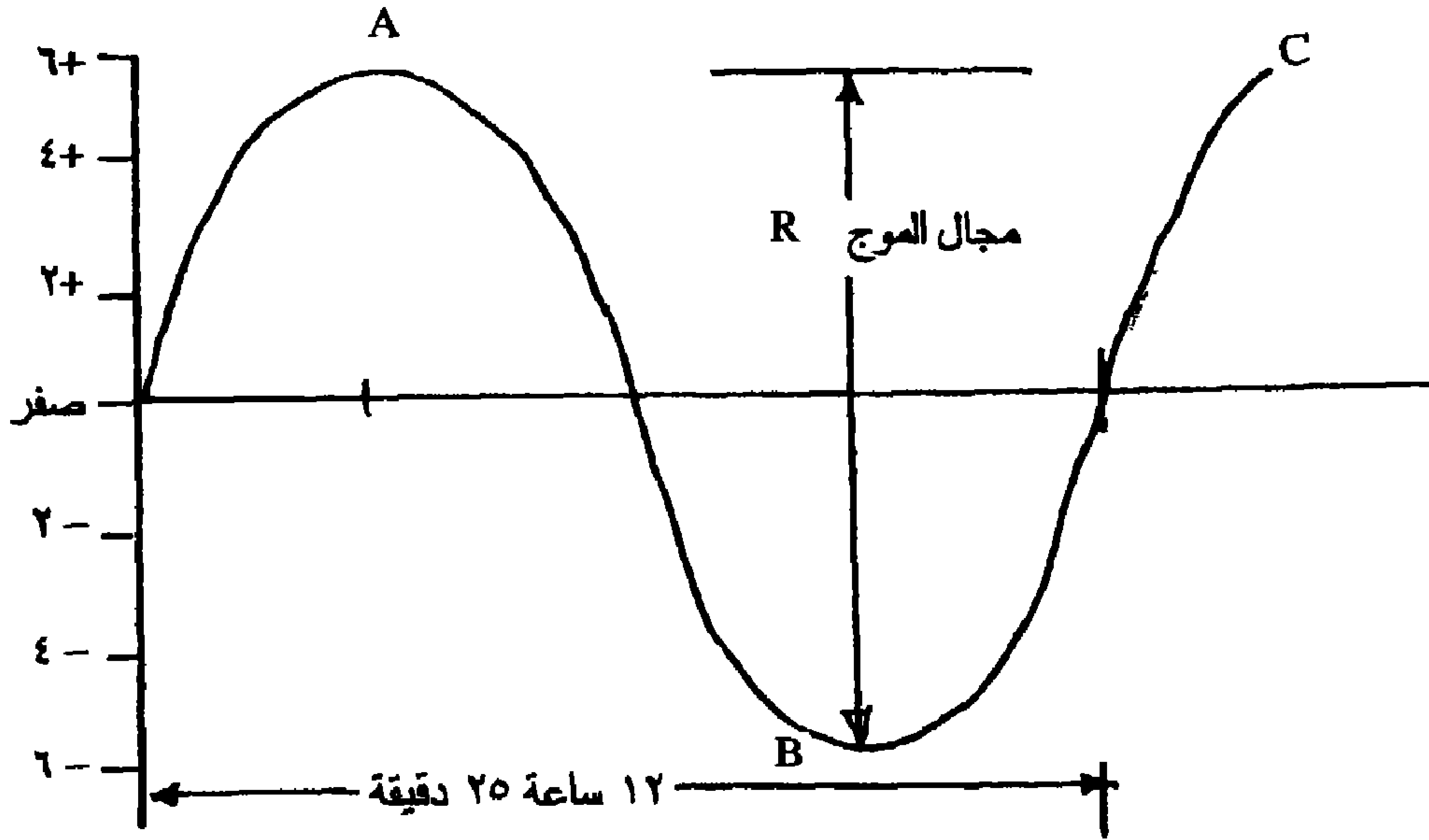
كل المياه المتدفقة معها طاقة حركية. عند مقابلة مثل هذا الماء تربينا فإن جزءا من عزوم الماء المتدفق يتحول إلى التربين مسببا دورانه. دوران التربين يمكن عندئذ استخدامه فى توليد الكهرباء. سواء كان الماء فى البحر المفتوح، أو خليج ، أو نهر، فإن حركته يمكن بذلك استخدامها فى توليد الطاقة. المد والجزر الذى يحدث فى المحيطات والبحار هو واحد من هذا النوع من الطاقة المبنى على حركة المياه.

يولد المد والجزر بفعل قوى الجاذبية للشمس والقمر على المحيطات ، بواسطة دوران الأرض حول محورها والأوضاع النسبية للأرض، والقمر والشمس.

المد والجزر (Tides) هو الارتفاع الرأسى والسقوط من آن إلى آخر لمياه المحيط. الفترة الزمنية بين تعاقب المد والجزر المرتفع هو ١٢,٥ ساعة. ارتفاع المد وسقوط الماء يصاحبه حركة للماء من آن إلى آخر للأمام وللخلف تسمى تيارات المد والجزر (Tidal Currents). هناك علاقة وثيقة بين المد والجزر وتيارات المد والجزر.

تختلف حركة المد والجزر على حركة الموج. الموج له فترة زمنية حوالى ٦ ثوان فقط بينما المد والجزر له فترة زمنتية ١٢,٥ ساعة. الأمواج سببها الرياح السطحية، بينما المد والجزر سببه قوى الجاذبية للقمر والشمس على مياه المحيطات. مدى المد والجزر يغطى مجالا متسعا من ٢٥ سنتيمتر إلى ١٠ متر. سرعة تيارات المد والجزر تكون فى المجال من ١,٨ كيلومتر فى الساعة إلى حوالى ١٨ كيلومترا فى الساعة. كل من المد والجزر وتيارات المد والجزر يمتلك طاقة متجددة.

ارتفاع وسقوط منسوب الماء يتبع منحنى جيبى (Sinusoidal - Curve) ، المبين بالنقطة A موضحا نقطة ارتفاع المد والنقطة (B) يبين نقطة الجزر المنخفض. متوسط الفترة الزمنية لمنسوب المياه ليسقط من (A) إلى (B) ثم يرتفع من (B) إلى (C) كل يساوى تقريبا ٦ ساعة، ١٢,٥ دقيقة شكل (١/١٥)



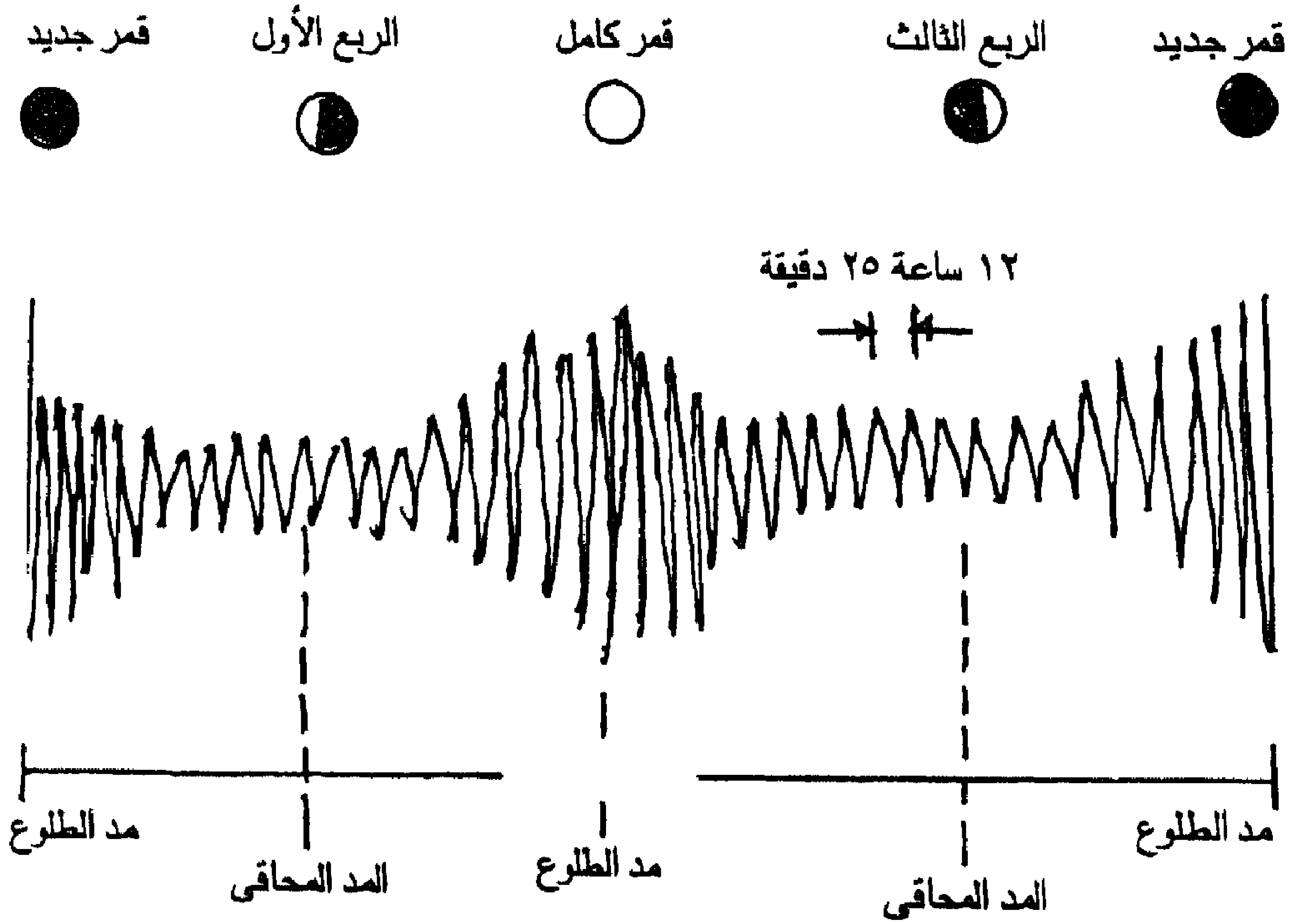

**شكل (١/١٥) : أمواج البحر .**

الفرق بين مستويات الماء العالية والمنخفضة يسمى مجال المد والجزر. هذا المجال (R) يعرف بالآتى :

R = ارتفاع الماء عند المد العالى – ارتفاع الماء عند المد الواطى .

بسبب تغير الأماكن للقمر والشمس بالنسبة للأرض، فإن المجال يتغير باستمرار. ولكن توجد بعض الظواهر المميزة لهذا التغير. فى أوقات عند اكتمال القمر، حيث تكون الشمس والقمر والأرض تقريبا على خط واحد، فإن قوى الجاذبية للشمس وللقمر تزداد . عندئذ يكون مجال المد والجزر كبيرا استثنائيا، المد والجزر المرتفع يكون أعلا والمنخفض يكون أقل من المتوسط. هذا المد المرتفع يسمى المد الربيعى (Spring Tides) . على الجانب الآخر، قريبا من الربع الأول والثالث للقمر، عندما

تكون الشمس والقمر على زاوية قائمة بالنسبة للأرض، يحدث المد والجزر المحاقى (أى الجزر التام الذى يحدث فى الربع الأول والثالث من الشهر القمرى) . مجال المد والجزر يكون عندئذ صغير استثناء، المد والجزر العالى يكون منخفضا والمد والجزر المنخفض يكون أعلا من المتوسط. عندئذ، فإن المجال لا يكون ثابتا. فهو يتغير أثناء ٢٩,٥ يوم من الشهر القمرى شكل (١٥/٢) ويكون عند أقصاه فى وقت القمر الجديد والكامل (المسمى المد والجزر الربيعى)، وعند الأدنى فى وقت الربع الأول والثالث للقمر (المسمى المد أو الجزر الناقص Neap Tide) . دورة المد والجزر الربيعى والناقص تستمر نصف الشهر القمرى. نموذج للمتوسط هو حوالى ثلث المجال الربيعى. التغيرات الحقيقية فى المجال هى معقدة إلى حد ما بسبب التغيرات الموسمية المسببة للمدار البيضاوى للأرض حول الشمس.




**شكل (١٥/٢) : حالات المد العالى والواطى موضحا التغير فى المجال خلال الشهر القمرى**

التغيرات الشهرية والموسمية من الطبيعى يجب أن تؤخذ فى الاعتبار فى تصميم وتشغيل محطات طاقة المد والجزر . ولكن ، المد والجزر عادة يكون من الممكن التنبؤ به. جداول المد والجزر الدقيقة إلى حد ما تكون متاحة عادة.

مجالات المد والجزر تتغير من مكان أرضى إلى آخر. وهى تتأثر قبل تلك الحالات مثل الشكل العام لخط الشاطئ وعمق المياه. عندما تكون هذه ملائمة، فإن تأثير ما يشبه الرنينى (Resonance) بسبب مجالات مد وجزر كبيرة جدا. المجالات يجب أن تكون كبيرة لتبرير التكاليف الضخمة لبناء السدود وما يصاحبها من محطات الطاقة الكهربية المائية مثل هذا المد والجزر يحدث فقط فى أماكن قليلة من العالم.

المد على طول خطوط الشاطئ هى حوالى ارتفاع واحد متر، ولكن فى مناطق الاختناقات فإنها تزداد بأداء قمعي (Funneling)، حيث يمكن أن ترتفع إلى حوالى ١٠ م أو أكثر. إنه فى مثل أماكن الإختناق هذه حيث معظم محطات الطاقة بالمد والجزر يمكن وجودها. يتم وضع سدة أو بوابة (Sluice Gate) عبر خليج بحرى. المد القادم يملأ الحوض المغلق حيث يمر خلال صف من التربينات الهيدروليكية. بعد إمتلاء الحوض بالماء، يتم قفل البوابات وتوقف التربينات. عندئذ يتم عكس (Reversed) ريش التربين وفتح البوابات ثانيا لترك الماء يتدفق إلى الخارج. لذلك فإن التربينات سوف تدور فى أى اتجاه مولدة طاقة كهربية.

## ٢ - الأنواع الرئيسية لنظم توليد الطاقة بالمد والجزر:

كما ذكر سابقا مخطط تنمية طاقة المد والجزر يتضمن أساسا إنشاء حاجز طويل عبر الخليج أو مصب النهر لخلق حوض كبير على جانب اليابسة. الحاجز يشمل سدا صخريا، بوابات التحكم، وغرفة الطاقة. مخطط طاقة المد والجزر له الأشكال المختلفة الآتية:

١ – حوض واحد، قوة مد بتأثير واحد.

٢ – حوض واحد، قوةمد بتأثير مزدوج.

٣ – مخطط الحوض المتصل.

### * فى حالة حوض واحد، قوة مد بتأثير واحد:

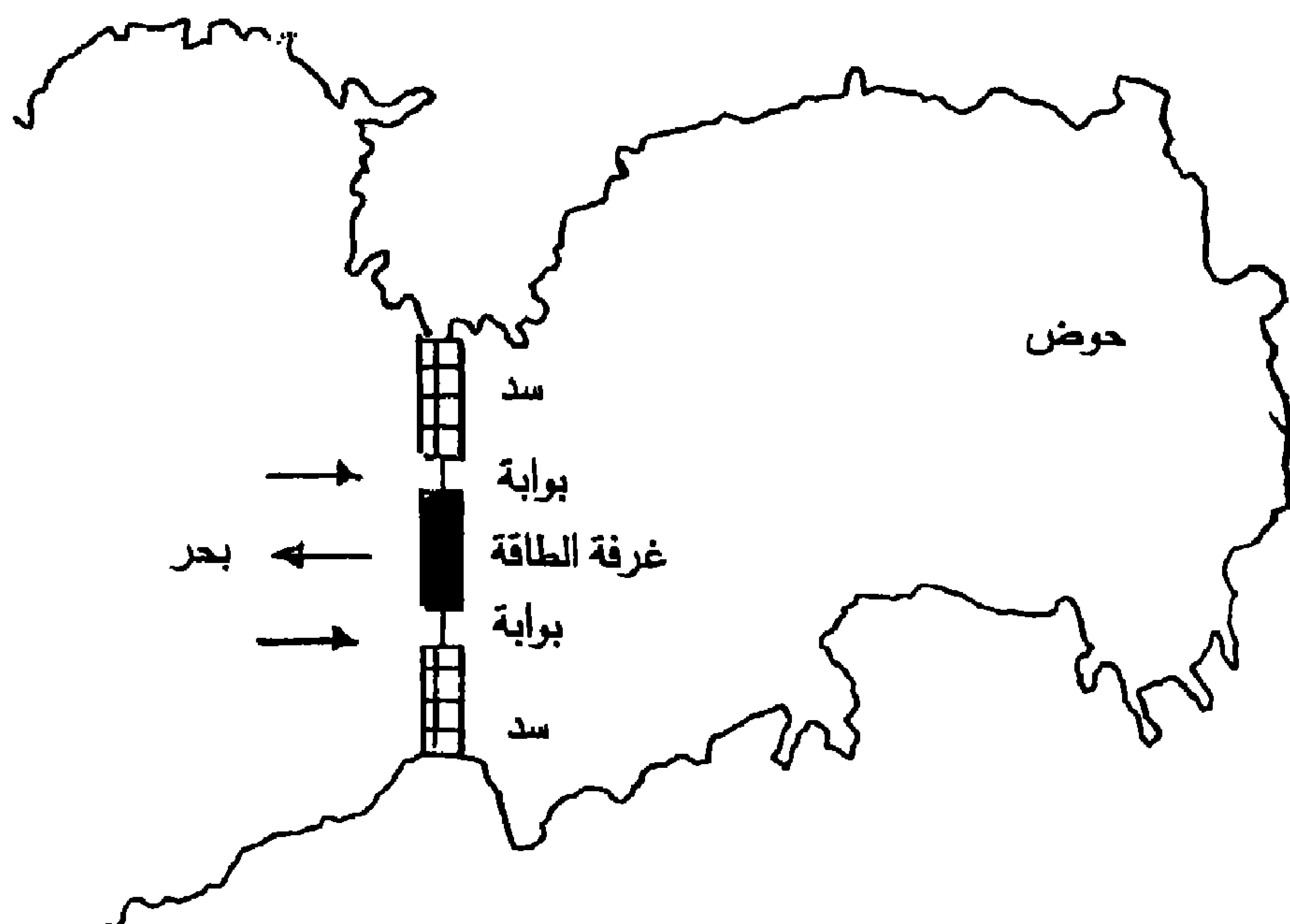
يتم توليد الطاقة أثناء فيض المد (Flood Tide)، حيث الماء متدفق من البحر نحو الحوض خلال التربينات، وكذلك أثناء الجزر أى انحسار المد عن الشاطئ (Ebb Tide).

*** فى حالة حوض واحد ، قوة مد بتأثير مزدوج :**

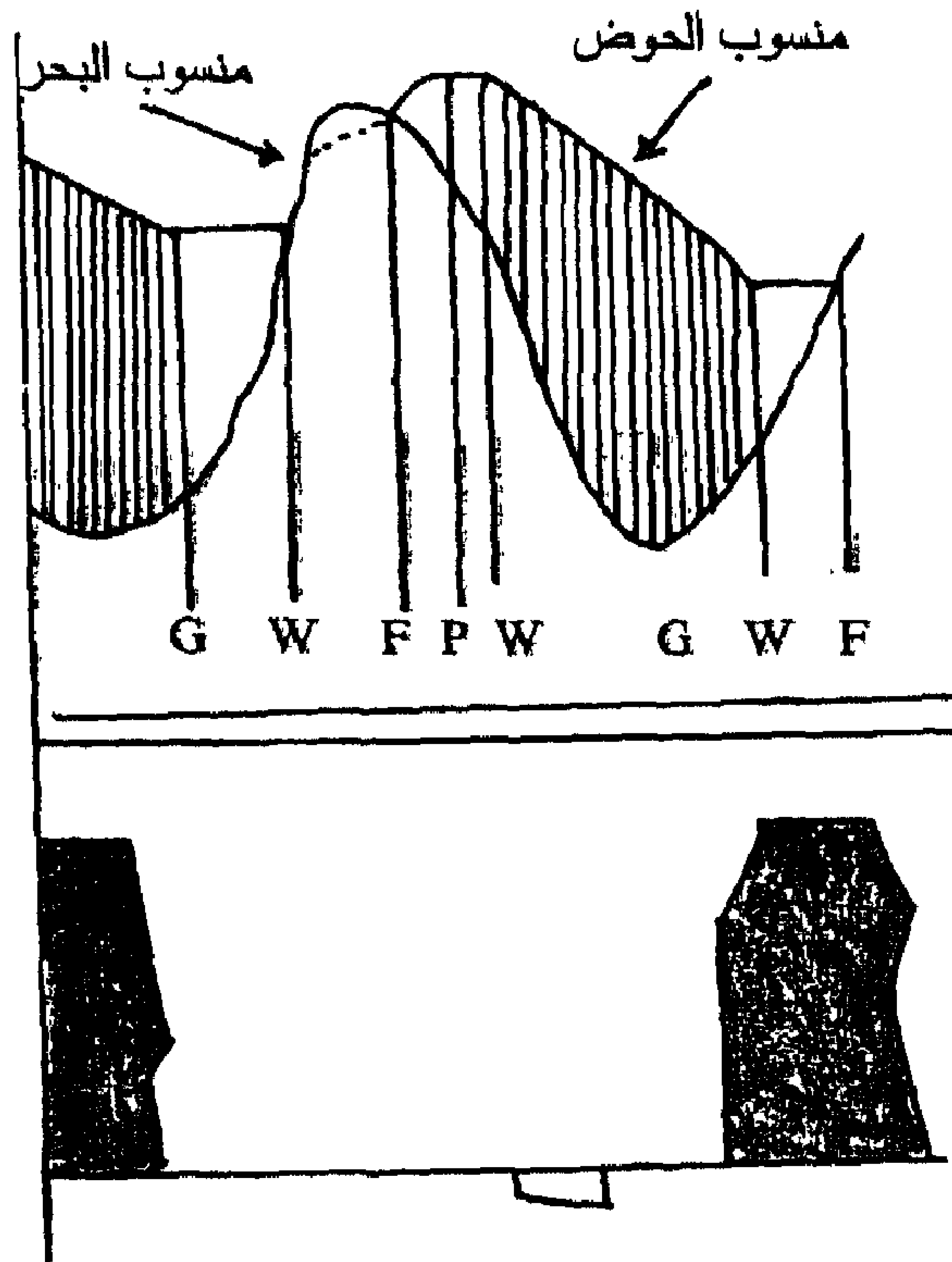
يتم توليد الطاقة أثناء فترة فيض المد، حيث الماء متدفق من البحر إلى الحوض خلال التربينات، وكذلك أثناء الجزر أى انحسار المد عن الشاطئ ، حيث الماء متدفق من الحوض إلى البحر خلال التربينات. فى هذه الحالة، يتم تغير اتجاه (عكس) ريش التربين بالنسبة لزاوية الريش المناسبة طبقا لاتجاه التدفق.

*** فى الحوض المتصل (الحوض المزدوج ، التأثير الفردى لقوة المد) :**

فى المخطط شكل (١٥/٥) ، يوجد حوضان على جانب اليابسة حيث غرفة الطاقة موضوعة فى الحاجز بين الحوضين. يتم توليد الطاقة بتدفق المياه من الحوض العالى إلى الحوض الواطى خلال التربينات وتدفق الماء من الحوض المنخفض إلى البحر خلال الجزر. المولدات التربينية (Turbo Generators) تكون قادرة على التوليد الكفء للطاقة عند الارتفاعات المنخفضة (Low Heads)، وبالتالى ، تداول كميات صرف ضخمة. يمكن ملاحظة ومن الأشكال (١٥/٣ ، ١٥/٤ ، ١٥/٥) أن إمكانيات الطاقة فى كلا المخططين الأولين محدودة مقارنة بالمخطط الثالث. المخطط العام لمحطة الطاقة بالمد موضح فى الشكل (١٥/٦) .

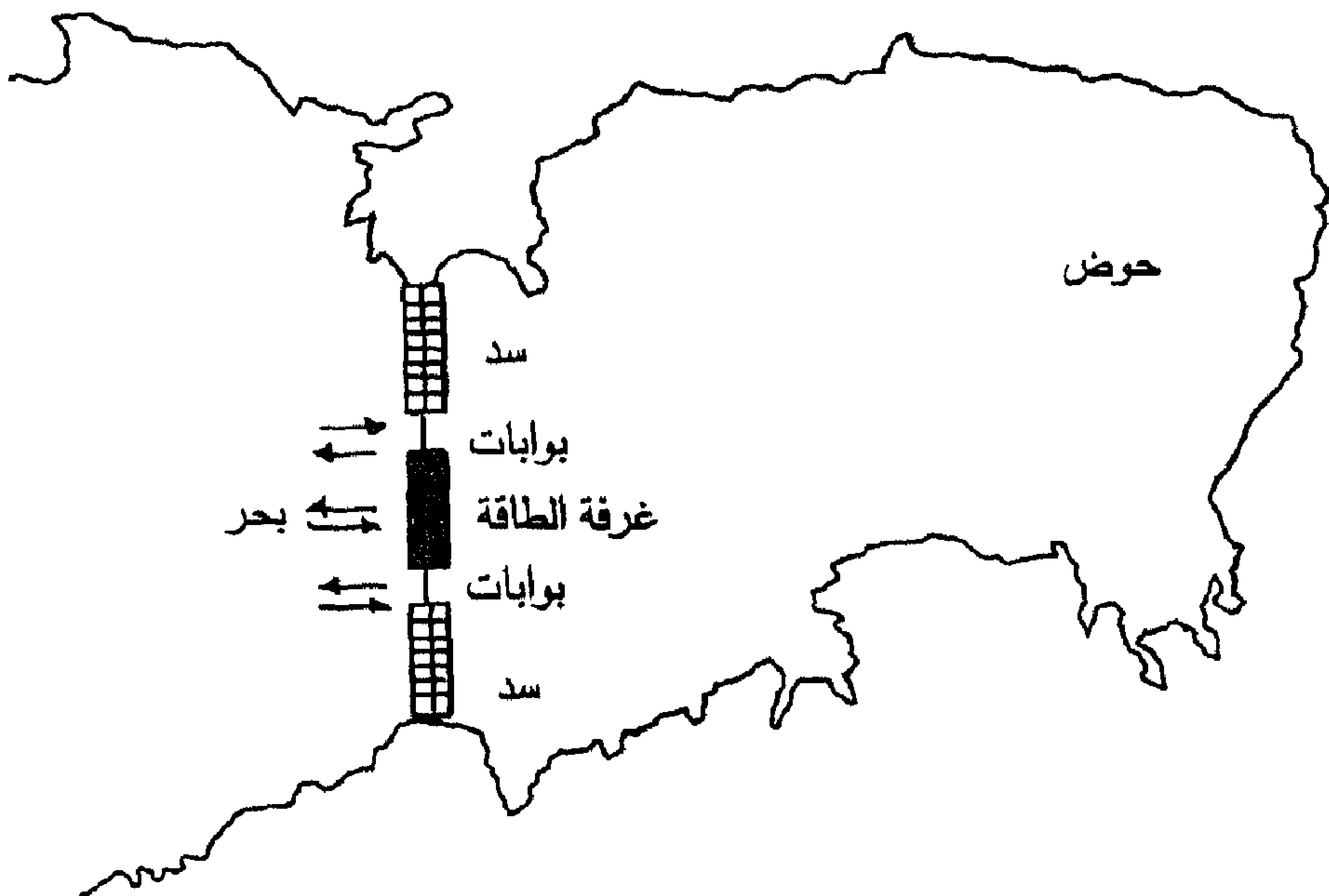



شكل (٣ أ / ١٥) : مخطط لمحطة طاقة، حوض واحد تأثير واحد

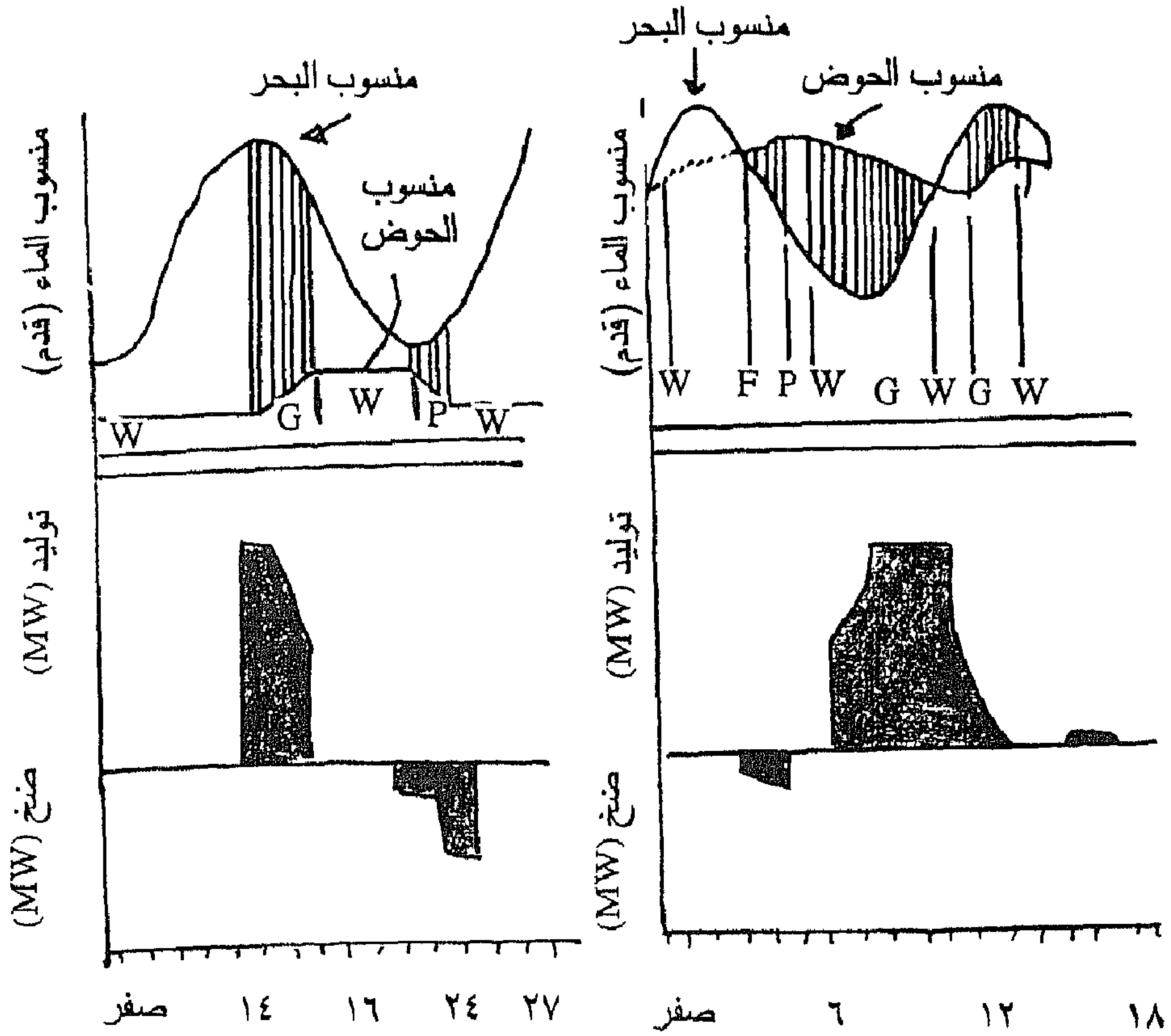



G : توليد، P ضخ، W انتظار، F : ملئ

**شكل (٣ ب / ١٥) : مخطط لمحطة طاقة، حوض واحد تأثير واحد - منظر علوى**



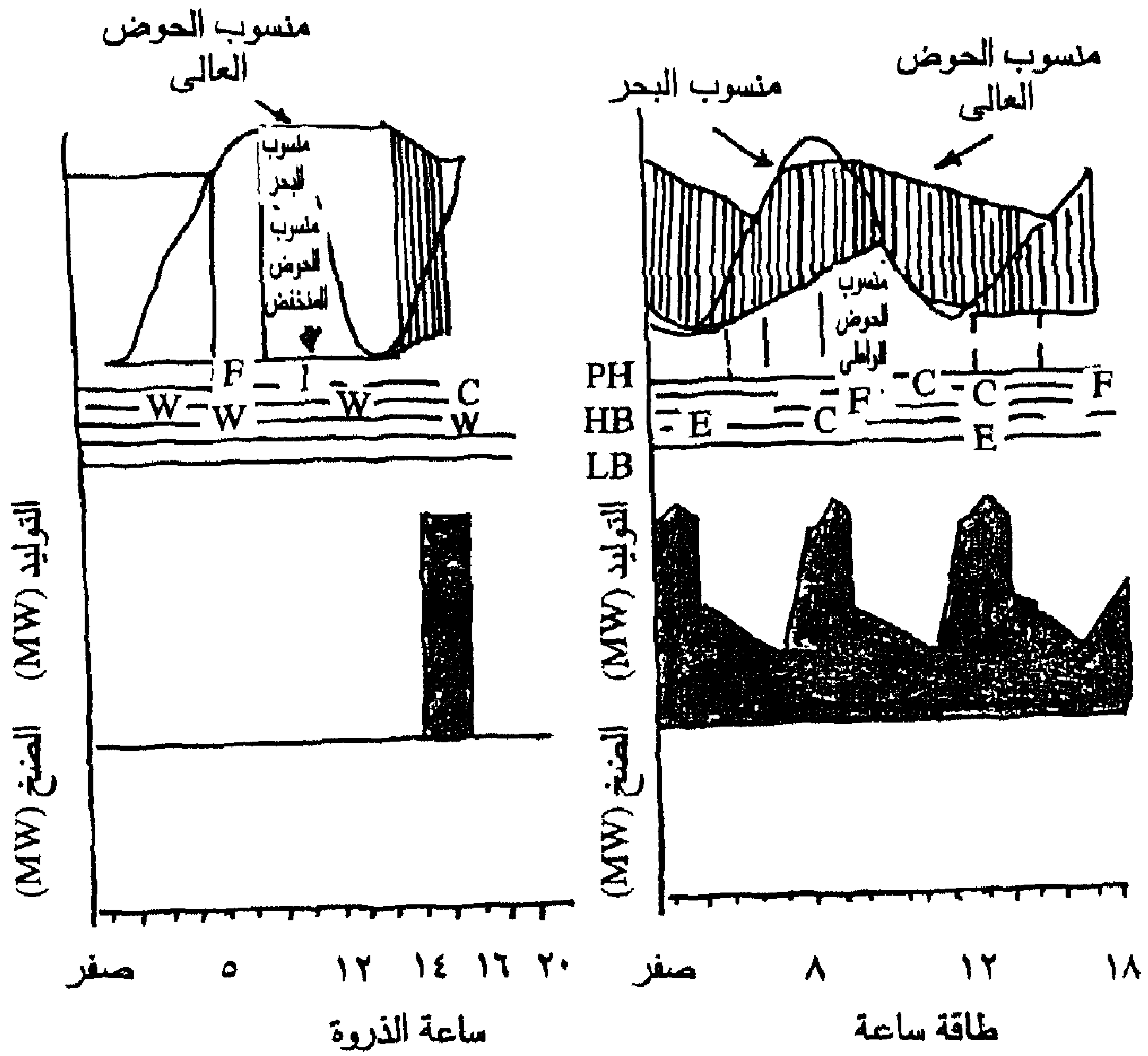

**شكل (٤ أ / ١٥) : مخطط لطاقة الموج حوض واحد تأثير واحد**




شكل (٤ ب / ١٥) : مخطط لطاقة الموجة حوض واحد مؤثر واحد – منظر علوى



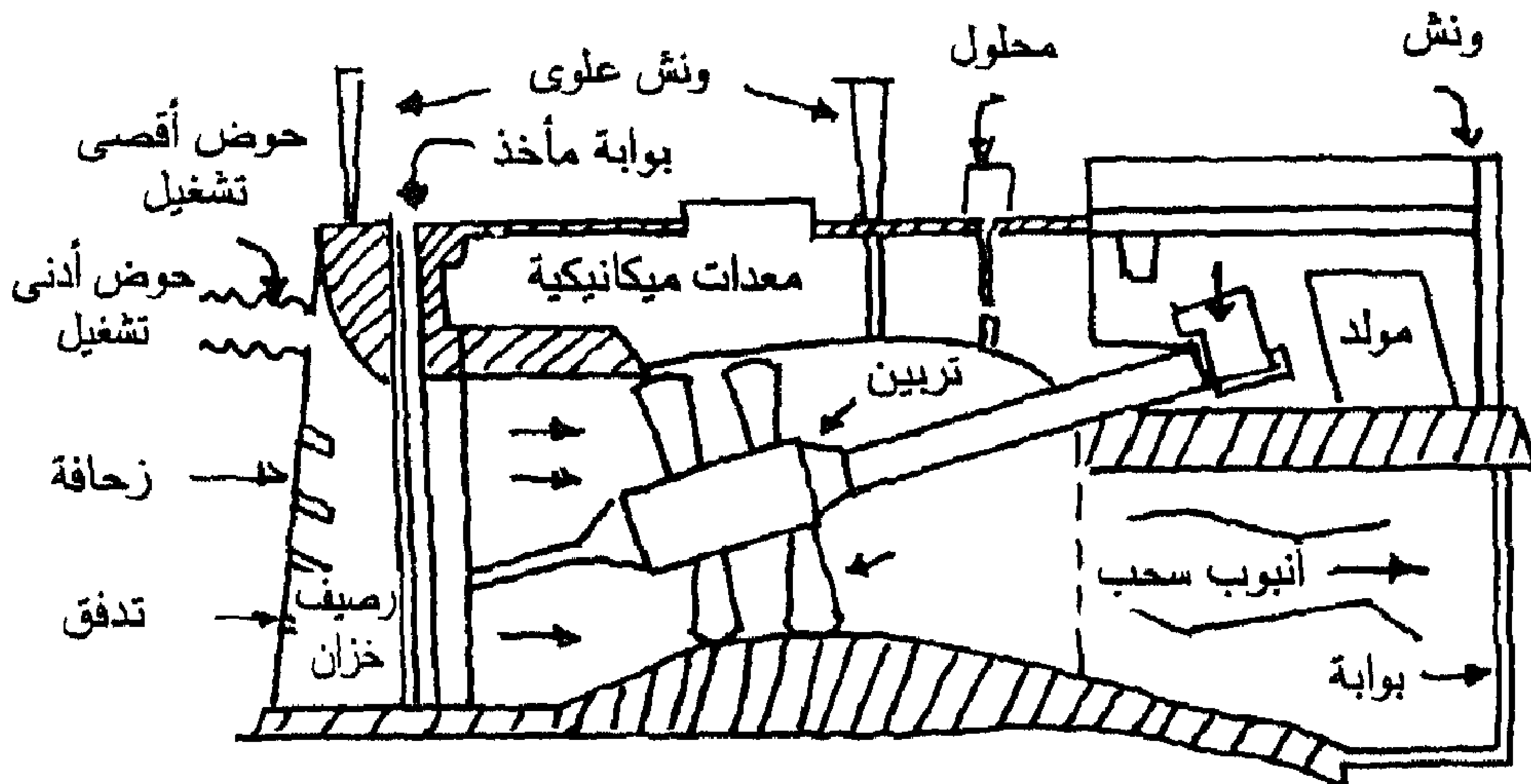

شكل (٥ أ / ١٥) : مخطط لحوض متصل




PH : غرفة الطاقة ، G: المولد ، I لا يوجد توليد ، HB حوض عالى

LB : حوض منخفض ، F : ملئ ، E : فارغ ، W : منتظر ، C : حوض مغلق

**شكل (٥ ب / ١٥) : مخطط لحوض متصل منظر علوى**




**شكل (٦ / ١٥) : مخطط لمحطة طاقة المد**

## ٣ - إمكانيات طاقة المد والوضع الراهن لاستخدامها :

أقصى إمكانيات لتوليد الطاقة الكهربية بواسطة طاقة المد تقدر بحوالى ٥٥٠ مليار كيلوات ساعة فى /العام. ذلك لأن الأماكن الجيدة لطاقة المد فى العالم محدودة. وهى تشمل خليج (San Iose) فى الأرجنتين، المصب النهرى (Severn) فى إنجلترا، (Cookin Let) فى آلاسكا، (Puget Sound) فى واشنجتن .

## ٤ - مميزات وحدود توليد طاقة المد :

١- المميزات الكبيرة لطاقة المد، بجانب كونها غير مستنفدة، هى أنها مستقلة تماما عن المطر غير المؤكد. حتى فى حالة الجفاف المستمر لعدة سنوات لا يكون هناك تأثير على قوة توليد الطاقة من المد.

٢ - توليد طاقة المد خالى من التلوث حيث لا يستخدم وقود ولا ينتج أى غازات ملوثة للبيئة.

٣ - محطات القوى هذه لا تحتاج إلى مساحات كبيرة من الأرض نظرا لوجودها على الخلجان (شاطئ البحر) .

٤ - ذروة الطلب على الطاقة يمكن تحقيقه عند العمل مع نظم الطاقة الحرارية أو الهيدروليكية.

## الحدود وبعض من الحلول :

يوجد عدد من أسباب توليد الطاقة من المد أنها مازالت فى المراحل كمصدر جديد وليس كمصدر طبيعى للطاقة. والأسباب هى :

١ - السلبية الأساسية لكل طرق توليد الطاقة من المد هى التغير فى الخرج بسبب التغيرات فى مجال المد.

٢ - مجالات المد شديدة التغير ولذلك فإن التربينات يلزم أن تعمل خلال مجال كبير من تغيرات الضغط الرأسى. وهذا يؤثر على كفاءة إنتاج الطاقة.

٣ - نظرا لأن توليد طاقة المد يتوقف على فرق المنسوب فى البحر والحوض الأرضى الداخلى، فإنه يجب أن تكون عملية متقطعة، ذات جدوى فقط عند مرحلة معينة

لحدود المد. هذا النظام المتقطع يمكن تحسينه إلى حد ما باستخدام عدة أحواض ونظام الدورة المزدوجة.

٤ – مجال المد يكون محدودا بالقليل من الأمتار. نظرا لأن تكنولوجيا تربين البصيلة (Bulb Turbine) لم يتم تطويرها لهذا المجال، فإن استخدام (Kaplan Runners) التقليدية كان هو البديل الوحيد . فقد وجد أن هذا غير مناسب . الآن ومع تنمية بصيلة التربينات ذات التدفق العكسى، فقد تم التغلب على هذه الصعوبة.

٥ – الفترة الزمنية لدورة الطاقة يمكن أن تكون ثابتة ولكن توقيت حدوثها يتغير، بما يسبب صعوبة فى التخطيط اليومى لمشاركة الحمل فى الشبكة، ولكن هذه المشكلة أصبح من الممكن التغلب عليها الآن بمساعدة برامج الحاسب الآلى.

٦ – مياه البحر عدوانية وكان التخوف من تآكل المعدات. الصلب المقاوم بمحتوى عالٍ من الكروم وكمية صغيرة من الموليدنيوم وكذلك سبائك برونز الألومنيوم (Aluminium Bronzes) برهنت على أنها ذات مقاومة جيدة للتأكل فى مشروع (La Rance) . كذلك فإن طلاء الفينيل حقق نتائج جيدة.

٧ – صعوبة الإنشاءات البحرية أو الخلجان.

٨ – التكلفة ليست مفضلة مقارنة بمصادر الطاقة الأخرى .

٩ – يخشى من أن محطة طاقة المد يمكن أن تعيق الاستخدامات الطبيعية الأخرى للخلجان ومصبات الأنهار مثل صيد الأسماك، أو الملاحة.

معلومات عن مختلف طاقة المد فى معظم دول العالم موضحة فى الجدول التالى (١/١٥) .

جدول (١٥/١): أمثلة لبعض أماكن طاقة المد فى العالم وإمكانيات الطاقة المقدرة

| المكان | متوسط المجال R | $R^2$ | مساحة الحوض A | $R^2$ A | متوسط امكانيات الطاقة (P) | امكانيات الطاقة السنوية E |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | (m) | ($m^2$) | ($km^2$) | ($m^2$) ($km^2$) | $10^3$ KW | 16 KWh |
| شمال أمريكا خليج | — | — | — | — | — | — |
| Fundy | — | — | — | — | — | — |
| Passmaquoddy | ٥,٥٢ | ٣٠,٥ | ٢٦٢ | ٧,٩٣٠ | ١,٨٠٠ | ١٥,٨٠٠ |
| Cobscook | ٥,٥ | ٣٠,٣ | ١٠٦ | ٣,٢١٠ | ٧٢٢ | ٦,٣٣٠ |
| Cumberland | ١٠,١ | ١٠٢ | ٧٣ | ٧,٤٥٠ | ١,٦٨٠ | ١٤,٧ |
| جنوب أمريكا | — | — | — | — | — | — |
| الأرجنتين San Jose | ٥,٩ | ٣٤,٨ | ٧٥٠ | ٢٦,١٠٠ | ٥,٨٧٥ | ٥١,٥ |
| أوربا | — | — | — | — | — | — |
| انجلترا | — | — | — | — | — | — |
| Severrn | ٩,٨ | ٩٦,٠٠ | ٧٠ | ٧,٤٦٠ | ١,٦٨٠ | ١٤,٧ |
| فرنسا | — | — | — | — | — | — |
| Aber - Benoit | ٥,٢ | ٢٧,٠٠ | ٢,٩ | ٧٨ | ١٨ | ١٥٨ |
| Abar - Warch | ٥,٠٠ | ٢٥,٠٠ | ١,١ | ٢٨ | ٦ | ٥٣ |
| الاتحاد السوفيتى السابق | — | — | — | — | — | — |
| Kiolaya Inlet | ٢,٣٧ | ٥,٦٢ | ٢,٠٠ | ١١ | ٢ | ٢٢ |
| خليج لومبوفسكى | ٤,٢٠ | ١٧,٦ | ٧٠ | ١,٢٤٠ | ٢٢٢ | ٢,٤٣ |
| الهند : | | | | | | |
| خليج كامبى | متوسط مجال المد (m) | طول المنشأ Km | أعمق منسوب ماء فوق المد المنخفض | مساحة الحوض $Km^2$ | امكانية الطاقة Mw | التوليد السنوى Gwh |
| خليج كامبى | ٦,٨ | ٢٦ | ٢٩ متر | ١٩٧٢ | ٧٣٦٧ | ١٥٣٩٤ |

# الفصل السادس عشر

# طاقة الأمواج (Wave Energy)

## ١ - مقدمة :

الأمواج توجد أساسا فى المحيطات والبحار والبحيرات الضخمة، فى بعض الحالات تكون قوة الموج قوية بما تكفى للتغلب على السفن الكبيرة ودفعها نحو الشاطئ. الأمواج توجد بفعل أداء الجاذبية للشمس والقمر، وكذلك بفعل قوة الرياح. المحيطات هى مواقع جيدة لجمع طاقة الرياح، فى الواقع الأمواج هى مصدر للطاقة مستقر وراسخ مقارنة بطاقة الرياح ، ذلك لأنه بمجرد توليد الرياح للموج، فإن الأمواج ترسل الطاقة التى امتلكتها من الرياح خلال مسافات هائلة مع فقد قليل فقط. ولكن من ناحية أخرى فإن طاقة الرياح قد أثبتت دائما أنها أسهل بكثير نحو اقتناصها مقارنة بطاقة الأمواج.

تدفقات طاقة الأمواج فى البحر المفتوح أو ضد السواحل قد تتغير ما بين القليل من الوات إلى العديد من الكيلوات للمتر. وهى أصغر فى الصيف وأكبر فى الشتاء، أساسا فى المناطق ذات الرياح الغربية السائدة والرياح التجارية.

حركة الأمواج تتكون من كل من حركة رأسية وحركة أفقية للماء . الحبيبات المستقلة للماء يحدث لها غالبا حركة دائرية، حيث تتحرك إلى أعلا حيث الاقتراب إلى قمة الموجة، وإلى الأمام عند القمة، وإلى أسفل عندما تبدأ فى الارتداد إلى الخلف فى الأغوار.

## ٢ - تجهيزات تحويل طاقة الأمواج

الطاقة الميكانيكية فى الأمواج تأخذ أشكالا مختلفة. توجد طاقة الحركة الأمامية للموج – الطاقة الملموسة العالية التى تضرب السفن والمنحدرات

الصخرية الشاهقة عند الشواطئ (Cliffs) . أحد المخططات المقترحة تتوجه نحو هذه الطاقة الحركية الأمامية . أى تنظيم هندسى الذى يمتص الطاقة بتحويل العزم الأمامى للموج إلى حركات لأجزائها الداخلية، بدون إعادة انبعاث طاقة كبيرة مقارنة بما تمتصه، يمكن أن تستخلص حركة الطاقة الأمامية هذه .

كذلك فإن استخلاص الطاقة الواحدة هى طاقة الوضع للمياه المرتفعة عند قمة الموجة . ضغط الجاذبية بين القمة والقاع ليس كبيرا بما يكفى لتمكين توليد قوة عملية لدفع التربين المائى مباشرة، ولكن طاقة الوضع فى الموج كبيرة إلى حد ما .

إنه ليس من الصعب اختراع عديد من تروس السقاطة (Ratchet)، المحابس أو آليات الفتح المتقطع التى يمكنها تحويل طاقة الموج إلى الشكل الهيدروليكى أو الهوائى أو الكهربى. التحدى الهندسى هو نحو إيجاد طريقة اقتصادية لهذا العمل على مستوى كبير . نظرا لأن الأمواج تأتى فى مجال كبير لأطوال الموجة ومداها، فإن أى تجهيز مؤثر يجب أن يكون إما غير راجع (Non - Resonant) أو أنه سوف يكون تردد رجوعه مضبوط باستمرار. تم اقتراح العديد من الآليات، وتم بحث العديد من هذه . فمثلا، يمكن للموج أن يضغط الهواء فى أعلا الحوض العائم، باستخدام محابس هواء ذات اتجاه واحد (One Way Air - Valve) . الكهرباء يتم توليدها عند خروج الهواء خلال تربين هوائى. فى تجهيز آخر، الأمواج التى تعبر ماسورة رأسية فى الماء ومجهزة بمحبس عدم رجوع داخلى الذى يسمح للماء بالتحرك إلى أعلا فى الماسورة وليس إلى أسفل، يسبب ارتفاع عامود الماء فى الماسورة إلى ارتفاع أضعاف ارتفاع الموجة. الماء يمكن انطلاقه من جزء مرتفع بطريقة محكمة لتشغيل تربين مائى تقليدى. نوع آخر من الآليات يستخدم العوامات ذات خواص رد الفعل الديناميكى المختلف. يستخدم الفرق فى الحركة (Differential Motion) لتشغيل طلمبة أو محرك ميكانيكى. فمثلا، أسطوانة طويلة جدا عمودية ممتده بعيدا أسفل السطح سوف تظل ثابتة تقريبا مع مرور الأمواج خلالها. الطفو الحلقى المحيط بها سوف يرتفع ويهبط مع المحابس، ويمكنه أن يدفع كباس طلمبة متصل بالأسطوانة .

التجهيزات التى تم تطويرها لتحويل طاقة الموج إلى طاقة ميكانيكية أو كهربية يتم شرحها فى البند التالى :

## ٣ - تحويل طاقة الموج بواسطة العوامات

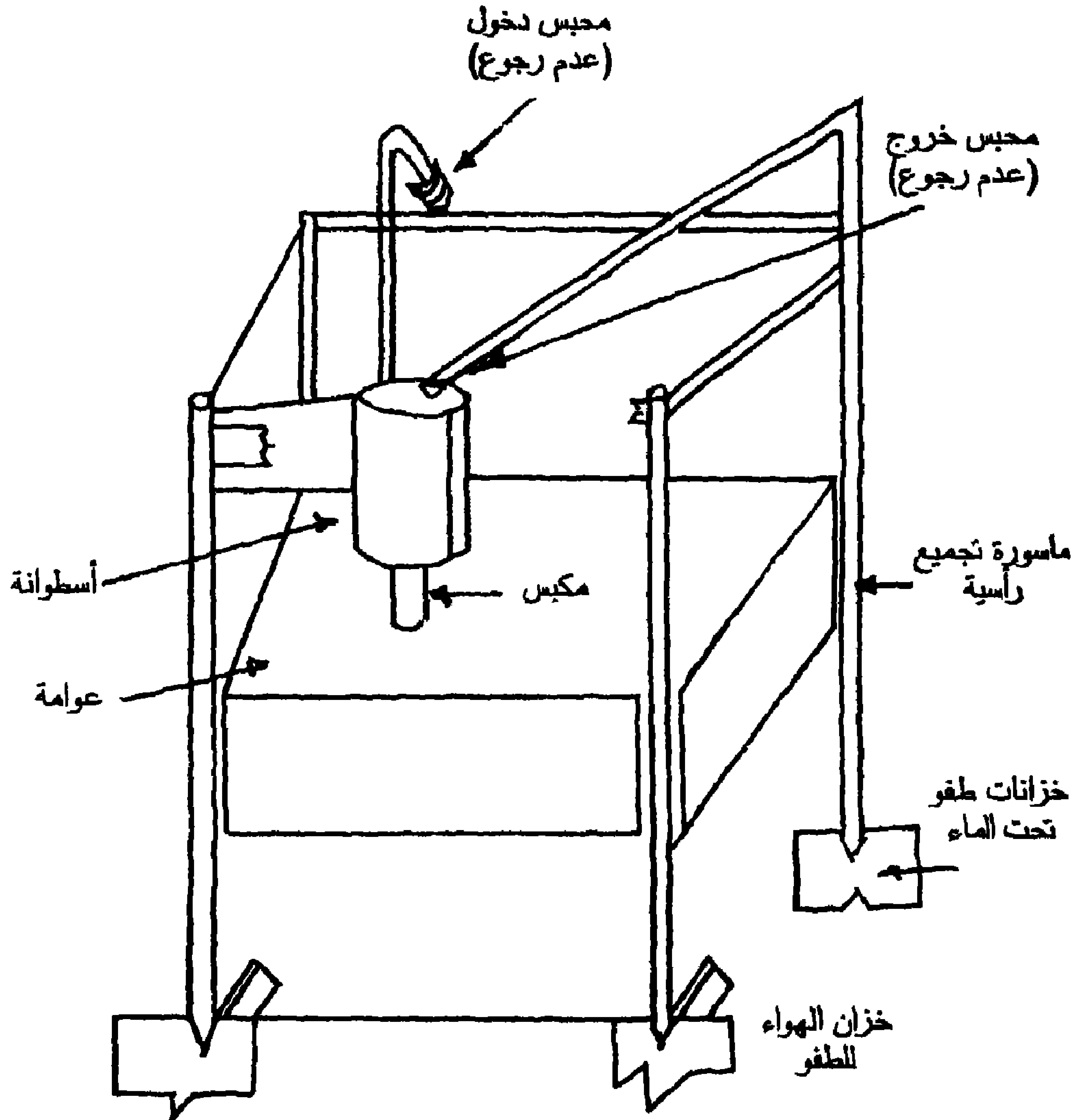
**(Wave Energy Conversion By Floats)**

حركة الموج أساسا أفقية، ولكن حركة حبيبات الماء هى أساسا رأسية . القوة الميكانيكية يتم الحصول عليها بواسطة العوامات بالاستفادة بحركة المياه . المفهوم بتخيل عوامة ضخمة تتحرك إلى أعلا وإلى أسفل بواسطة الماء خلال دليل ثابت نسبيا. هذه الحركة الترددية تتحول إلى قوة ميكانيكية وبالتالى يتم توليد قوة كهربية .

النظام المبنى على هذا المبدأ موضح فى الشكل (١٦/١) ، الذى فيه تتحرك عوامة مربعة إلى أعلا وإلى أسفل بواسطة الماء. يتم توجيهها بواسطة أربعة خزانات طفو ضخمة تحت الماء والتى تعمل على تثبيت الرصيف المحمل بواسطة قوى الطفو ولا تحدث إزاحة رأسية أو أفقية بسبب أداء الموج. لذلك ، فإن الرصيف يظل ثابتا فى الفضاء.

المكبس المتصل بالعوامة كما هو موضح فى الشكل (١٦/١) يتحرك أعلا وإلى أسفل داخل أسطوانة. الأسطوانة متصلة بالرصيف ولذلك تكون مستقرة نسبيا.

نظام المكبس والأسطوانة يستخدم كضاغط ترددى. الحركة السفلية للمكبس تسحب الهواء إلى داخل الأسطوانة خلال محبس دخول وعدم رجوع . هذا الهواء يتم ضغطه بواسطة الحركة العلوية للمكبس ويتم إمداده إلى الأربعة خزانات طفو تحت الماء خلال مخرج محبس عدم رجوع من أربع وصلات مواسير، وبهذه الطريقة فإن الأربعة خزانات الطفو تخدم الغرض المشترك لكل من الطفو وتخزين الهواء، وكذلك الأربع وصلات مواسير الرأسية ودلائل الطفو.




**شكل (١٦/١) : مخطط لتجهيز طاقة الموج بواسطة العوامات**

يتم تشغيل تربين الهواء بواسطة الهواء المضغوط الذى يتم تخزينه فى خزانات الطفو، والتى بالتالى تقوم بتشغيل مولد كهربى الذى ينتج الكهرباء والتى تنقل عندئذ إلى الشاطئ خلال كابل تحت الماء. نظام عامود الماء الترددى يمكن تصنيفه إلى ثلاثة أنواع طبقا للطريقة التى بها يتم استخلاص طاقة الموج.

١ – فى حالة وضع التجهيز بطولها موازية لاتجاه الموج، وامتصاص طاقة الموج باستمرار مع مرور الموجة على طول، عندئذ تسمى التجهيزة الملطف (Attenutator) .المثال الواضح هو تجهيز عامود الماء الترددى اليابانى (Kaimai) .

٢ – إذا كان التجهيز على طول عمودى نحو اتجاه الموج، عندئذ يمكن بواسطة صف من مثل هذه التجهيزات، امتصاص طاقة الموج الساقطة تماما، وإنهاء الموجة. مثل هذه التجهيزات تسمى المنهية (Terminator) .

٣ – توجد بعض التجهيزات والتى هى ليست بالملطف ولا بالمنتهى. فهى ذات أبعاد صغيرة ، خلال كل من طول الموجة وطول ارتفاع قمة الموجه Crest) (Length. وهذه تسمى نقطة الامتصاص . تجهيزات عامود الماء المتأرجح تعمل فى جامعة الملكة، بلفاست ، أيرلندا، فى النرويج.

التجهيزات المنهية (Terminators) تكون معرضة لقوى الموج العالى وبالتالى يجب أن تكون ثقيلة الإنشاء. من الناحية الإنشائية التجهيزات المنهية تكون ذات تكلفة أقل.

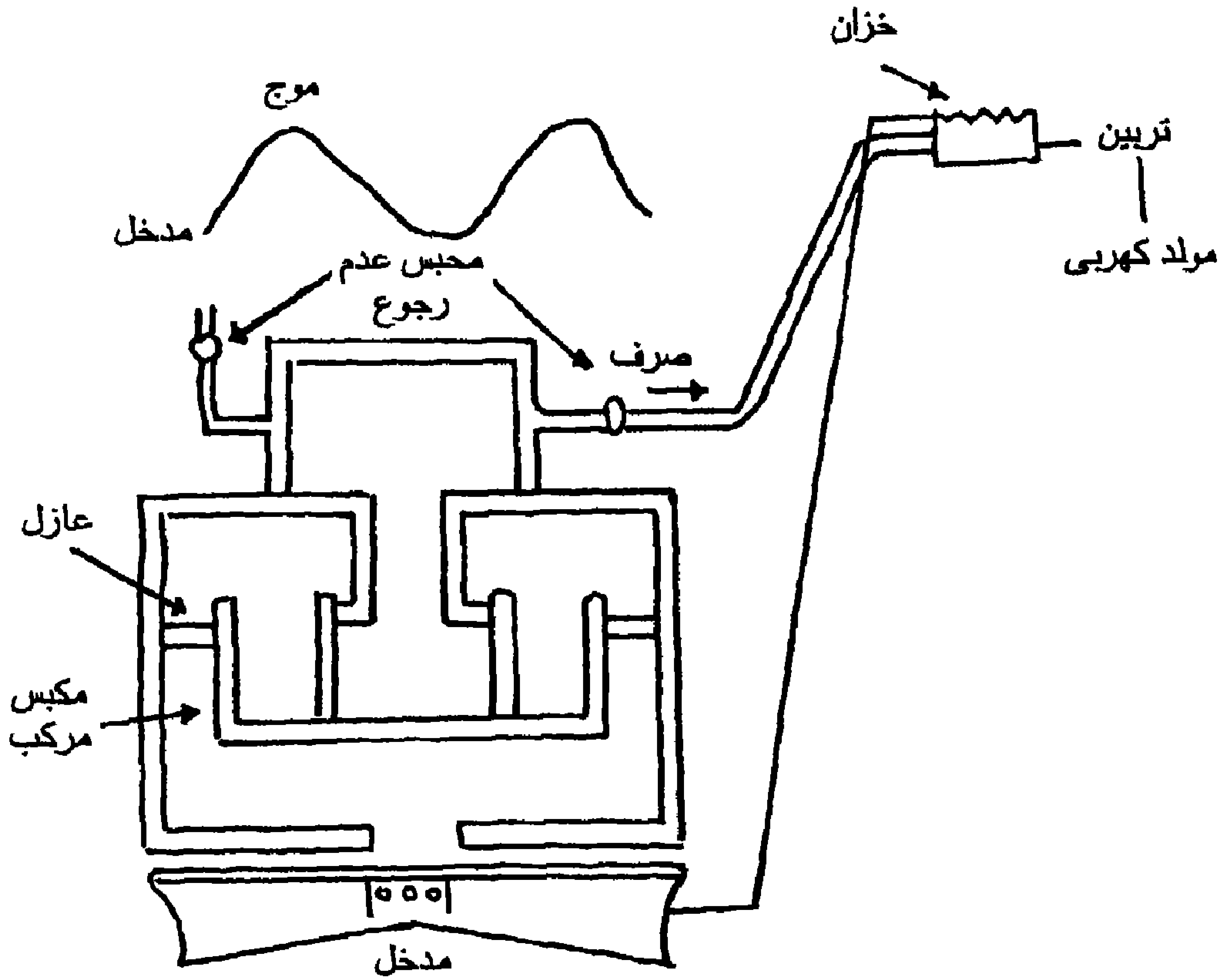
عموما مخطط استخلاص الطاقة من الأمواج يستفيد من الحركة الرأسية باستخدام حركة العوامة مقابل (ضد) مرساة تثبيت (Anchor).

الإزاحة الرأسية استخدمتها اليابان لتزويد عوامات الإرشاد البحرى بالطاقة، وتقوم اليابان بإنشاء محطة طاقة ضخمة باستخدام هذا المبدأ. مقارنة بذلك، فقد اقترح فى المملكة المتحدة توليد الطاقة الكهربية من المحصلة الأفقية لحركة الموج. النظام الميكانيكى المستخدم لذلك يعرف بنظام (Salter's Ducks) حيث تستخدم مجموعتان من المجاديف الرأسية والتى تكون منظمة بحيث إن مجموعة تستقبل قمم الأمواج القادمة بينما الأخرى تكون فى مجرى الحوض (Trough). الحركة إلى الأمام وإلى الخلف لمجموعتى المجداف تتحول إلى الطاقة الكهربية بواسطة التربين. ماكينة طاقة الموج الضخمة، فى حجم ناقلة البترول الضخمة يمكنها تحويل حوالى ٥٠ ميجاوات من الطاقة فقط . توجد مشكلة حادة فى تحويل حركة الاهتزاز للمجاديف إلى دوران فى اتجاه واحد عالى السرعة لمولد كهربى.

## ماكينة (جهاز) خزان الموج عالى - المستوى :

**High - Level Reservoir Wave Machine**

مفهوم هذا التجهيز موضح فى الشكل (١٦/٢) الذى فيه يتم استخدام مكبس تكبير. الماء الضغوط يتم رفعه إلى خزان طبيعى فوق مولد الموج والذى يجب أن يكون قريبا من خط الشاطئ، أو لخزان ماء صناعى. الماء فى الخزان يسمح له بالتدفق خلال التربين المتصل بالمولد الكهربى، ثم العودة إلى مستوى البحر. يمكن لمولد بقطر ٢٠ م إنتاج طاقة بقوة واحد ميجاوات .




شكل (١٦/٢) : مخطط لماكينة خزان الموج عالى المستوى

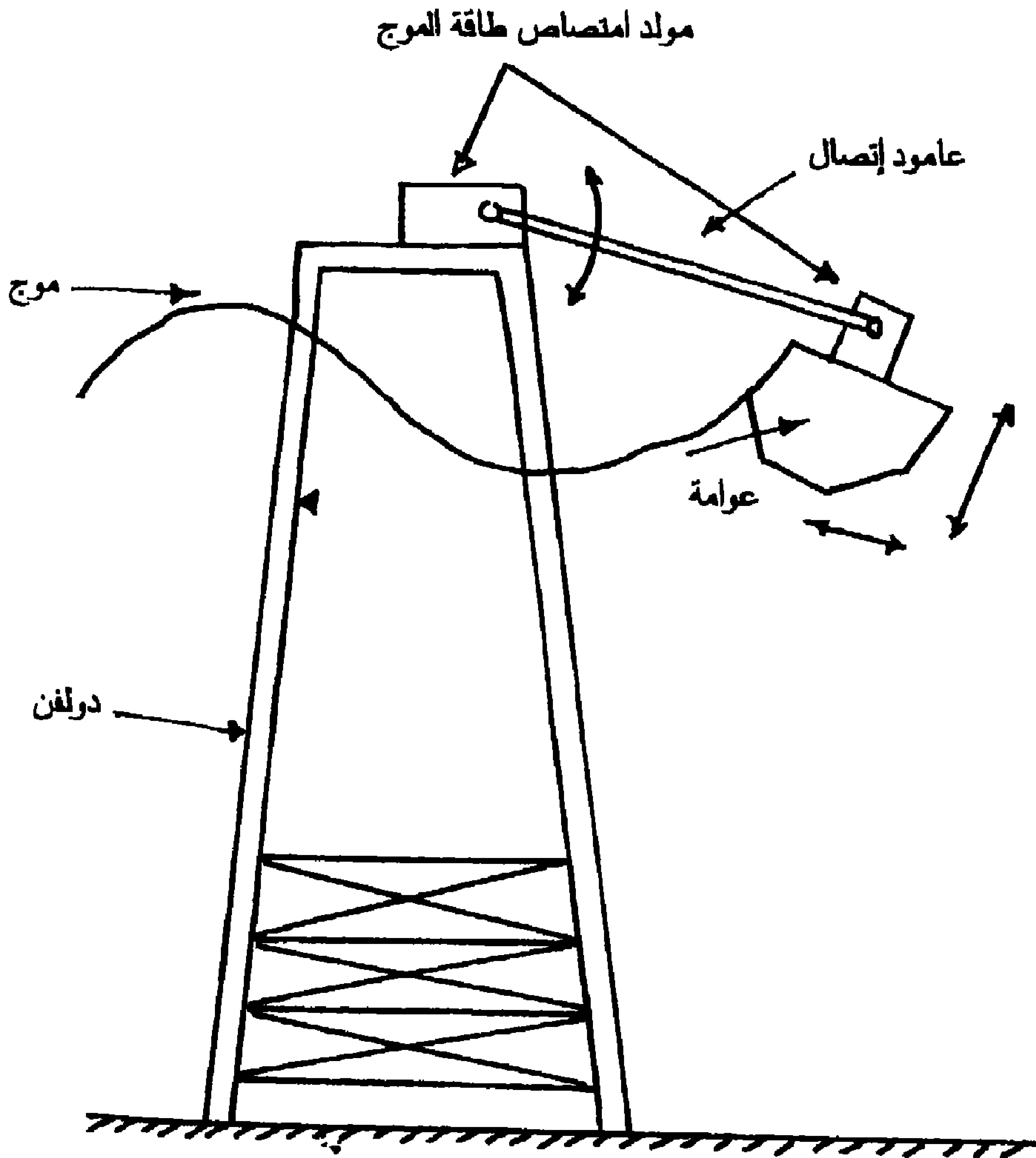
## ماكينة طاقة الموج من نوع الدولفن

**Dolphin Type Wave - Power Machine**

هذا النوع من مولدات - الموج الذى تم تصميمه بواسطة معامل الأبحاث فى اليابان موضح فى الشكل (١٦/٣) . يتكون النظام من المكونات الرئيسية الآتية :

١ - الدولفن - ٢ - العوامة - عامود اتصال - اثنين من المولدات الكهربية

هذا التجهيز استخدم العوامة التى لها حركتين. الأولى هى حركة الدحرجة حول محور ارتكارها مع عامود الاتصال (Connecting Rod) ، والذى يعطى حركات دورانية بين العوامة وعامود التوصيل . الآخر هو تقريبا حركة رأسية (أو بالرفع) حول محور ارتكاز عامود الاتصال . فهو يسبب تحركات دورانية نسبية بين عامود الاتصال والدولفن الثابت. فى كلتا الحالتين، يمكن تكبير التحركات وتحويلها بواسطة التروس إلى حركة دورانية مستمره والتى تدير اثنين من المولدات الكهربية .




شكل (٣/١٦) : ماكينة طاقة الموج من نوع دولفن

## ٣ - تجهيزات الأمواج الأخرى : (Other Wave Machines)

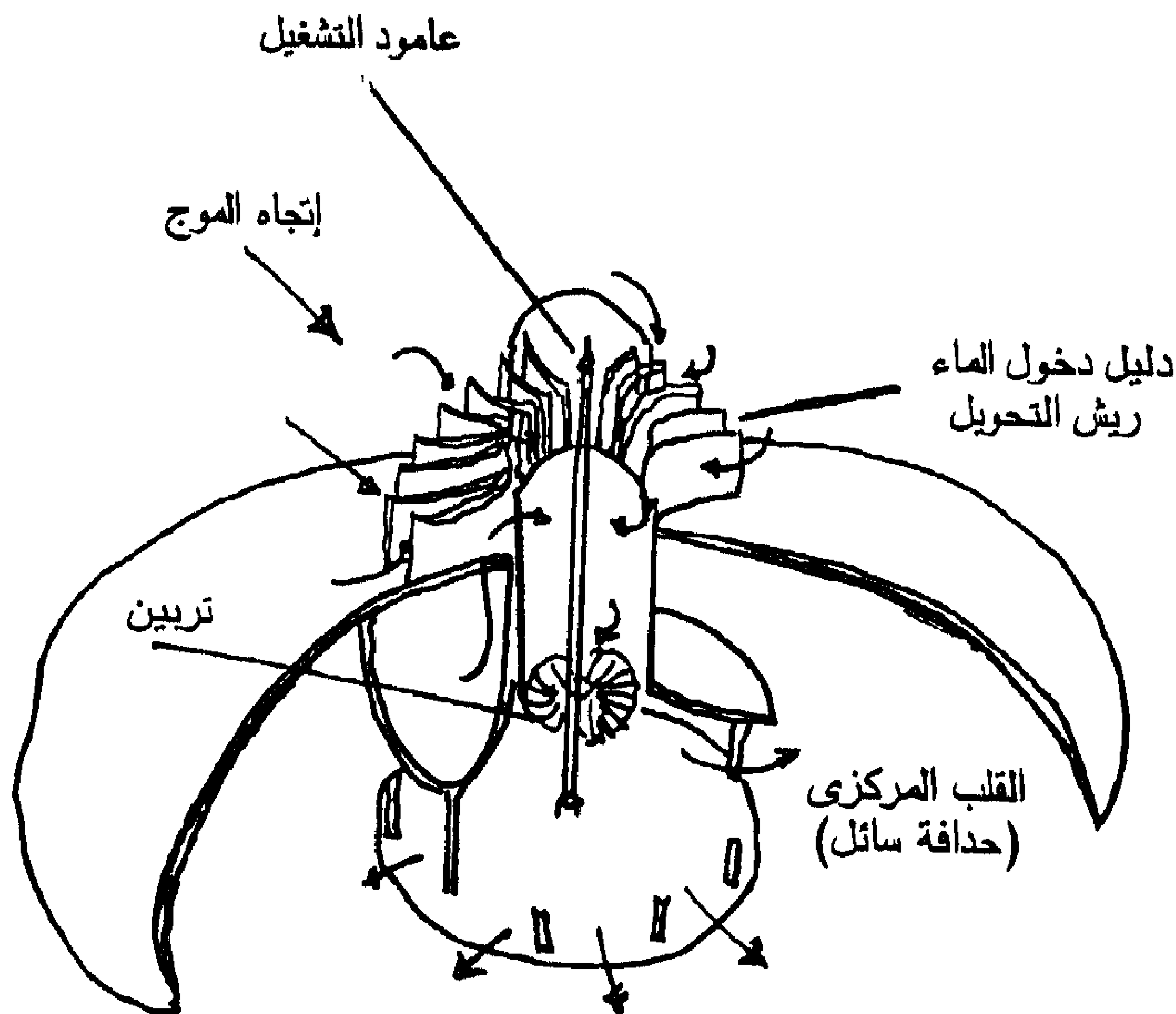
تستخدم كذلك تجهيزات تراكم الموج، حيث بدلا من الهواء المضغوط ، فإن الماء نفسه يتم ضغطه وتخزينه فى مركم الضغط العالى أو ضخه إلى خزان المستوى المرتفع، حيث يتدفق الماء منه خلال تربين الماء للمولد الكهربى. يتم ذلك بنقل أحجام ضخمة من الماء ذى الضغط المنخفض عند أعلا قمة الموج إلى أحجام صغيرة من الماء ذى الضغط العالى باستخدام مكبس مركب (Composite Piston) . الكبس يتكون من المكبس الرئيسى ذى القطر الكبير والمكبس ذى القطر الصغير عند مركزه . المكبس الرئيسى يتحرك إلى أعلا وإلى أسفل مع دخول مياه الموج خلال الفتحة. توجد حلقة الماء المقفلة فوق المكبس الصغير. الضغط على المكبس الرئيسى يتم تكبيره على المكبس الصغير أثناء المشوار العلوى. الماء ذو الضغط العالى يتم دفعه خلال محبس الاتجاه الواحد إلى المركم الهيدروليكى (Accumulator) عند أعلا المولد. حجمين من الهواء (أو غاز آخر) يعملا للاتزان المضاد (Counter Balanve) وكذلك كوسادات فى الغرفة فوق المكبس الرئيسى وفى الحيز المعزول فى المركم الهيدروليكى. كذلك فإن الأخير يحافظ على الضغط المرتفع. جزء من الماء عالى الضغط يتدفق خلال (Pelton Wheel Or Francis Hydraulic- Turbine) والتى تدير مولدا كهربيا ثم بعد ذلك تنصرف إلى غرفة تخزين أسفل التربين.

مفهوم آخر لفرق الحركة والذى يسمى الغطس المائل (Nadding Duck) حيث تستخدم قطع طفو طافية فى شكل كامة باتصال مفصلى مع عامود الإدارة المحورى لتكوين تجهيز الغطس المائل. الغاطسات تتأرجح أو تميل بالنسبة للإطار، حيث تعمل على تشغيل طلمبة هيدروليكية. هذا الغطس المائل ، رغم أنه فى مرحلة التجربة والاختبار إلا أنه ضمن البرامج الهامة لأبحاث طاقة الموج فى المملكة المتحدة.

من المثير للاهتمام أن (S. J. Savonius) قد استخدم دوارا من نوع معروف بدوار سافونويس، كطاحونة هواء لاستخلاص الطاقة من أمواج المحيط . الدوار (Rotor) كان مثبتا بواسطة محوره أفقيا، وعموديا على اتجاه انتشار الموجة (قريبا من الشاطئ، الذى كان متصلا به مفصليا بثبات، فى هذه الحالة) . دوار سافونويس المتماثل (Asymmetric) يمكنه إنتاج طاقة من كل من التدفقات الأمامية والخلفية

للمـاء خلال الدوار عند مختلف الأوقات والأعماق وتم الحصول على خرج الطاقة القليل من الكيلوات لكل متر مربع بمعدة التي كانت غير متقنة.

فكرة مختلفة أخرى لاستخلاص الطاقة من أمواج المحيط وهى تجهيزه حاجز الشعب الحلقى (Dam - Atoll) الموضحة فى الشكل (١٦/٤) . هذه التجهيزة لا تتجاوب مع حركة الموج العلوية والسفلية ولكن تستخدم انعكاس الموج لتغير اتجاه الموج وتركيز طاقة الموج إلى دوامة (Vortex) والتى تدير تربينا. الدوامة فى مركز قلب التجهيز تعمل كسائل حدافة (Fluid Fly Wheel) الحدافة تدير المولد التربينى. العنصر الحاكم فى تجهيزه حاجز الشعب الحلقى هو القبة الضخمة. القبة يجب أن تكون بقطر حوالى ١٠٠ متر، تقارن بحجم السقف الذى يغطى استاد كرة القدم. مع تحرك الموج فوق القبة فإن سرعة الموج تبطأ مع انخفاض عمق الماء. هذا يسبب حدوث انحناء أو انعكاس للموج بحيث إنه يتركز نحو مركز القبة. الريش (Vanes) عندئذ تساعد فى توجيه الماء المتدفق نحو الاسطوانة الرأسية والتربين. وحدة بقطر ٨٠ م يتوقع أن تنتج واحد ميجاوات.




شكل (١٦/٤) : نظام الشعب الحلقية لتوليد الطاقة الكهربية

## ٤ - مزايا وعيوب طاقة الموج :

### ١ - المزايا :

قوة أكبر مقارنة بطاقة الرياح والتى تصل إلى حوالى ١٠٠ ضعف . لا تستخدم مساحات من الأراضى مثل طاقة الرياح والطاقة الشمسية لا تحدث تلوثا بالبيئة .

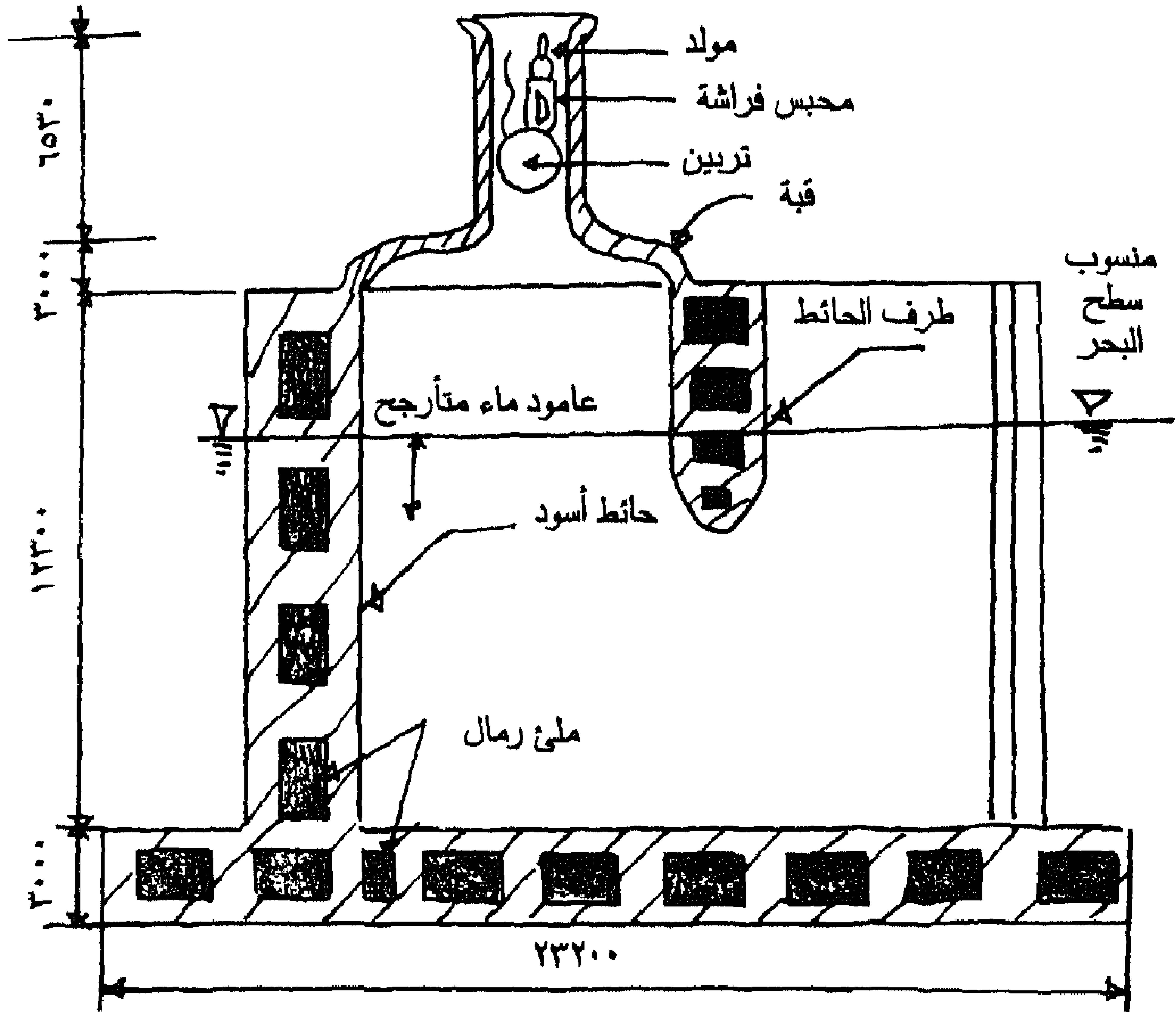
### ٢ - العيوب

- وجود مصدر الطاقة فى المياه حيث يلزم نقلها مسافات كبيرة .
- يجب أن تكون إنشاءات تحويل طاقة الموج قادرة على تحمل العواصف الشديدة .
- توجد ندرة فى أماكن الاقتراب المناسبة لنشاط الموج الكبير.
- تجهيزات تحويل طاقة الموج شديدة التعقيد.
- العوامل الاقتصادية يلزم دراستها لكل موقع.

## طاقة الأمواج والهند :

إمكانيات طاقة الموج السنوية فى الهند هى حوالى ١٧٥ – ٢٠٠ ميجاوات ساعة / المتر (175 - 200 M Wh/m) . حيث تختلف إمكانيات طاقة الموج ما بين ٥ كيلوات/ المتر إلى حوالى ٤٧ كيلوات/ المتر طبقا للمكان والظروف الموسمية . رغم ذلك فإن إمكانيات طاقة الموج فى الساحل الهندى منخفضة مقارنة بدول شمال خط الاستواء، توجد مساحات ساحلية كثيرة التى حدث بها تآكل شديد (Badly Eroded) بفعل الأمواج . فى حالة تنظيم حاجز طويل لطاقة كهربية . كذلك، فإنه فى حالة أن الحاجز ليس بعيدا عن الشاطئ، فإن الماء ما بين الحاجز والشاطئ يصبح هادئا . هذا الحوض الهادئ للماء يمكن استخدامه كميناء طبيعى وكذلك كمساحة للاستنبات المائى (Aquaculture) . هذا بالإضافة فإن هذه المساحة الهادئة يمكن استخدامها كمنطقة مرور شاطئية (Coastal Traffic) . لذلك ، فإن تجهيز طاقة الموج له فوائد عديدة .

طبقا للدراسات المعملية فى مركز هندسة البحار التابع للمعهد التكنولوجى فى مدراس ، تم تصميم وحدة تجارب أولية (Pilot Plant) بطاقة ١٥٠ كيلوات، حيث تتكون وحدة الطاقة من قيسون خرسانى بأبعاد ١٧ م × ٢٣ م ، مزود بغرفة عامود الماء المتأرجح شكل (١٦/٥)




**شكل (١٦/٥) : مقطع لوحدة الطاقة**
**بقيسون خرسانى**

الأمواج التى تدخل غرفة عامود الماء المتأرجح تنتج تيار هواء مزدوج الاتجاه فوق عامود الماء المتأرجح. بناء القيسون (أى المقصورة المحكمة السد للعمل تحت الماء – Caisson) تم تصميمه لأقصى ارتفاع للموج بحوالى ٧ م وزمن الموج ١٠ ثوان، ونظام الطاقة لتوليد أقصى قوة لـ ١٥٠ كيلوات عند أقصى ارتفاع للموج ٤,٥٢م فاروغة بقطر ٢ متر على قمة غرفة عامود الماء المتأرجح تحتوى على تربين الهواء ومولد قفص السنجاب (Squirrel Cage) بالحث الكهربى .

## الملحق :

## نظم الوحدات والتحويلات :

### ١ - نظام الوحدات : System Of Units

الجدول التالى يلخص العلاقة بين الكتلة (Mass) والقوة لمختلف نظم الوحدات .

$$F = \frac{ma}{gc}$$

جدول (١٦/١) : مقدار ووحدات ($g_c$) :

| النظام | الكتلة (M) | الطول (L) | الوقت (T) | القوة (F) | $g_c$ |
|---|---|---|---|---|---|
| مطلق | gm | Cm | Sec | dyne | 1.0 gm cm/dyne sec$^2$ |
| إنجليزى | Ibm | Ft | Sec | Ibf | 32.174 Ibm ft/Ibf sec$^2$ |

### الوحدات القياسية : (SI Units)

النظام العادى للوحدات للاستخدام العالمى تم قبوله بواسطة كل دول العالم. وهو فى شكل النظام المترى. توجد سبع وحدات أساسية كما فى الجدول التالى :

جدول (٢) : الوحدات القياسية الدولية (SI)

| م | وحدة الأساس | رمز الوحدة | الابعاد | الكمية الطبيعية |
|---|---|---|---|---|
| ١ | كيلوجرام | Kg | M | (كتلة) mass |
| ٢ | متر | m | L | (طول) Length |
| ٣ | ثانية | S | T | (زمن) Time |
| ٤ | درجة كيلفن | K | t | درجة حرارة |
| ٥ | أمبير | A | — | تيار كهربى |
| ٦ | شمعات Candles | Cd | — | إضاءة |
| ٧ | جزىء (Mole) | جزىء | — | كثافة |

## الوحدة المشتقة من SI :

الجدول الآتى يوضح بعضا من الوحدات المشتقة الهامة والتى تستخدم عادة بواسطة المهندسين. فى وحدات SI مضاعفات عشرية أو دون العشرية هى المستخدمة عادة. العوامل المختلفة يمكن اختصارها باستخدام رموز كما هو موضح فى الجدول التالى :

| م | الوحدات المشتقة | رمز الوحدة | الكمية الطبيعية |
|---|---|---|---|
| ١ | نيوتن | $N = Kg\ m / s^2$ | القوة (Force) |
| ٢ | جول | $J = N\ m = Kg\ m^2 / s^2$ | طاقة ، شغل أو حرارة |
| ٣ | وات | $W = J / s = N\ m / s$<br>$= Kg\ m^2 / s^3$ | قوة Power، معدل ، تدفق الحرارة |
| ٤ | باسكال | $Pa = N / m^2 \equiv Kg / m^2$ | ضغط ، إجهاد أو معامل اللدونة |
| ٥ | نيوتن متر | $Nm = J$ | عزم الانحناء أو عزم الدوران (Torque, Bending Noment) |
| ٦ | نيوتن ثانيه على المتر المربع | $N\ s / m^2$ | اللزوجة الحركية Dynamic Viscosity |
| ٧ | وات/ المتر/ درجة كلفن | $W\ m\ K = J / s - m - K$ | التوصيل الحرارى |
| ٨ | جول/ كيلوجرام/ درجة كلفن | $J / Kg\ K$ | الحرارة النوعية |

| م | الوحدات المشتقة | رمز الوحدة | الكمية الطبيعية |
|---|---|---|---|
| ٩ | هيرتز | Hz = c / s | التردد |
| ١٠ | فولت | V = W / A | الجهد |
| ١١ | أوم | Ω = V / A = W / A2 | مقاومة |
| ١٢ | كولومب | C = As | شحنة |
| ١٣ | فاراد | F ≡ As / v = A2 s / W | Capacitance |

جدول (٣) : مضاعفات العشرة :

| العامل | المصطلح | الرمز |
|---|---|---|
| $10^{12}$ | Tera | T |
| $10^{9}$ | Giga | G |
| $10^{6}$ | Mega | M |
| $10^{3}$ | Kilo | K |
| $10^{-3}$ | Milli | M |
| $10^{-6}$ | micro | m |
| $10^{-9}$ | nano | n |
| $10^{-12}$ | Pica | P |

جدول (٤) : القيمة الحرارية لمختلف أنواع الوقود
(Calorific Value Of Variou Fuels)

| الوقود | القيمة الحرارية الكلية | | ملاحظات |
|---|---|---|---|
| | M J / Kg | MJ / Litat 15°c | |
| المخلفات الزراعية<br>قش الأرز ، مخلفات قصب السكر | ١٢ إلى ١٥ | | للمادة الجافة |
| الوقود الحيوى | | | |
| الإيثانول | ٣٠ | ٢٥ | $C_2H_5oH$ : 789 Kg / $m^2$ |
| الميثانول | ٢٣ | ١٨ | $CH_3OH$ |
| البيوجاز | ٢٨ | ٢٠ x ١٠^-٣ | ٥٠٪ ميثان + ٥٠٪ $Co_2$ |
| غاز المولدات Producer Gas | ٥ – ١٠ | (٤ – ٨) x ١٠^-٣ | طبقا للمكونات |
| الفحم النباتى أو الحيوانى Char Coal | | | |
| القطع الصلبة | ٣٢ | ١١ | |
| المسحوق | ٣٢ | ٢٠ | |
| الوقود الحفرى | | | |
| الميثان | ٥٥ | ٣٨ x ١٠^-٣ | الغاز الطبيعى |
| الجازولين | ٤٧ | ٣٤ | بنزين السيارات |
| الكيروسين | ٤٦ | ٣٧ | |
| الديزل | ٤٦ | ٣٨ | |
| الزيت الخام | ٤٤ | ٣٥ | |

## وحدات التحويل (Inter Conversion Of Units)

العلاقات التالية لتحويل الوحدات من نظام إلى نظام آخر (ما بين الإنجليزى ، المترى، الدولى (SI)) سوف يستخدم عادة فى الحسابات :

**١ - الطول m ، m / s**

١ قدم = ٠,٣٠٤٨ متر = ٣٠,٤٨ سم

١ متر = ١٠٠ سم = ١٠٠٠ مليمتر = ٣,٢٨٠٨ قدم

= ٣٩,٣٧ بوصة = ١,٠٩٣٦ ياردة

١ بوصة = ٢,٥٤ سم = ٠,٠٢٥٤ متر

١ ميل = ١,٦٠٩٣٤٤ كيلومتر

١ مليمتر = ١٠٠٠ ميكرون (M)

M١ = ٣,٢٨١ × ١٠$^{-٦}$ قدم = ١٠$^{-٤}$ سم

١ قدم / الدقيقة = ٠,٠٠٥٠٨ متر / الثانية

١ ميل / الساعة = ٠,٤٤٧٧٧٨ متر / الثانية

١ كيلومتر / الساعة = ٠,٢٢٧٧٧٨ متر / الثانية

**٢ - الكتلة : كيلوجرام، كيلوجرام/المتر المربع، كيلوجرام/الثانية، كيلوجرام الثانية × م٢**

**Mass, Kg, Kg / m$^2$, Kg / s, Kg / Sm$^2$**

١ كيلوجرام = ٢,٢٠٥ رطل مترى

١ رطل مترى = ٤٥٣,٥٩٢ جرام = ٠,٤٥٣٥٩ كيلوجرام

١ رطل / قدم مكعب = ١٦,٠١٨٥ كجرام / المتر المكعب

١ جرام / سم٣ = ١٠٣ كجرام / المتر المكعب

١ رطل / الساعة = ٠,٠٠٠١٢٥٩٩ كجرام / الثانية

**٣ – المساحة (m2)**

١ بوصة مربعه = ٦,٤٥١٦ سم$^{٢}$ = ٠,٠٠٠٦٤٥١٦ متر مربع

١ قدم مربع = ٩٢٩,٠٣ سم$^{٢}$ = ٠,٩٢٩ متر مربع

١ سم$^{٢}$ = ٠,١٦٥ بوصة مربع

١ متر مربع = ١٠,٧٦٩٣ قدم مربع

١ ميل مربع = ٢,٥٨٩٩٩ كيلو متر مربع

**٤ – الحجم m3 ، m3 / Kg ، m2/s :**

١ بوصة مكعبه = ١٦,٣٨٧ سم$^{٣}$

١ لتر = ١٠٠٠ سم$^{٣}$ = ٦١,٠٢٤ بوصة مكعبه = ($١٠^{-٣}$) متر مكعب

١ جالون (إنجليزى) = ٤,٥٤٦ لتر = ٠,١٦٠٥ قدم مكعب

١ جالون = ٣,٧٨ كيلوجرام

١ متر مكعب = ٣٥,٣١ قدم مكعب = ١٠٠ لتر

١ قدم مكعب = ٠,٠٢٨ متر مكعب

١ قدم مكعب / الرطل = ٠,٠٦٢٤٢٨ متر مكعب / كجرام

١ قدم مكعب = ٠,٤٧١٩٤٧ لتر

١ جالون فى الدقيقة (انجليزى) = ٠,٠٧٥٧٦٨ لتر / الثانية

**٥ – الكثافة : متر مكعب / كجرام**

١ جرام / سم$^{٣}$ = ٦٢,٤٣ رطل / قدم مكعب

١ رطل / قدم مكعب = ٠,٠١٦ جرام / سم$^{٣}$ = ١٦ كجرام / م$^{٣}$

١ قدم مكعب (هواء) = ٠,٠٨٠٩ رطل = ٣٦,٥ جرام عند الضغط والحرارة العادى

١ لتر (هواء) = ١,٢٩٨٢ جرام عند الضغط والحرارة العادى

٦ - القوة (Force)

نيوتن N = N / m ، Kg m / S$^{-2}$

$10^5$ g - Kg - sec$^2$ (dyne) =

١ نيوتن = 1 Kg - m - sec$^2$ = 0.012 Kg F

0.2481 Ibf =

$10^{-5}$ Kg - m - sec$^{-2}$ (Newton) = Ig - Cm - sec$^{-2}$ (dyne)

7.233 X $10^{-5}$ Ib - ft - sec$^{-2}$ (Pounds)

٧ - الضغط : (Pressure)

باسكال (Pa) = N / m$^2$

= ٦,٨٩٤٧٦ كيلوجرام

١ بار = ٧٥٠,٠٦ مليمتر زئبق

= ٤٠١,٨٥ مليمتر ماء

= ٢٩,٥٣ بوصة زئبق

= ٠,٩٨٦٩٢ جوى

= ١٤,٥٠٤ رطل / البوصة المربعة

= ٢,٠٨٨٦ × ١٠$^{٣}$ رطل / القدم المربع

= ١٠$^{٥}$ نيوتن / المتر المربع

= ١٠$^{٥}$ باسكال

= ١٠$^{٣}$ كجرام / المتر – ثانية$^{٢}$

= ١٠$^{٤}$ جرام / سم – ثانية$^{٢}$

**١ نيوتن / م٢ $(IN / m^2)$ = ١ باسكال**

= ١٠$^{-٥}$ بار

= ١٠$^{-٢}$ كجرام / متر – ثانية٢

= ٧,٥٠٠٦ × ١٠$^{٣}$ مليمتر زئبق

= ٤,٠١٨٥ × ١٠$^{-٣}$ مليمتر ماء

= ٢,٩٥٣ × ١٠$^{-٤}$ بوصة زئبق

= ٠,٩٨٦٩٢ × ١٠$^{-٥}$ جوى

= ٠,٠٢٠٨٨٦ رطل / قدم مربع

**١ رطل / البوصة المربعة (PSi) :**

= ٦,٨٩٤٧ × ١٠$^{٤}$ جرام / سم – ثانية٢

= ٦,٨٩٤٧ × ١٠$^{-٣}$ كجرام / المتر – ثانية ٢

= ١٤٤ رطل / القدم المربع

= ٦,٨٠٤٦ × ١٠$^{-٢}$ جوى

= ٠,٠٦٨٩٥ بار

= ٦,٨٩٥ × ١٠$^{-٣}$ نيوتن / المتر المربع

= ٦,٨٩٥ كيلو باسكال

= ٥١,٧١٥ مليمتر زئبق

**– واحد جوى :**

= ٧٦٠ مليمتر زئبق

= ١,٠٣ كيلوجرام / سم٢

= ١,٠١٣٢٥ بار

= ١٤,٦٩٦ رطل / البوصة المربعة

= ٢,١١٦٢ رطل / القدم المربع

= ١,٠١٣٢٥ × ١٠ $^{٥}$ نيوتن - متر / المتر المربع

= ١٠١,٣٢٥ كيلو باسكال

- **واحد مليمتر زئبق :**

= ١,٣٣٣٢ × ١٠ $^{٣}$ جرام / سم - ثانية $^{٢}$

= ١,٣٣٣٢ × ١٠ $^{٢}$ كجرام / متر - ثانية $^{٢}$

= ٢,٧٨٤٥ رطل / القدم المربع

= ١,٣١٥٨ × ١٠ $^{-٣}$ جوى

= ١,٣٣٣٢ × ١٠ $^{-٣}$ بار

= ١٣٣,٣٢ باسكال

- **واحد مليمتر ماء :**

= ٩,٨٠٦٦٥ باسكال

- واحد بوصة ماء = ٢٤٩,٠٨٩ باسكال

**٨ - شغل الطاقة : (Work Of Energy)**

واحد إرج = ١٠ $^{-٧}$ جول

= ٢,٣٩٠١ × ١٠ $^{-٨}$ كالورى

= ٩,٤٧٨٣ × ١٠ $^{-١١}$ وحدة حرارية (Btu)

= ٣,٧٢٥١ × ١٠ $^{-١٤}$ قوة حصان - ساعة

= ٢,٧٧٧٨ × ١٠ $^{-١٤}$ كيلوات - ساعة

واحد جول = واحد نيوتن متر

= واحد وات - ثانية

= ١٠ $^{-٧}$ ارج

= ٠,٢٣٩٠١ كالورى

= ٩,٤٧٨٣ × $١٠^{-٤}$ وحدة حرارية (Btu)

= ٣,٧٢٥ × $١٠^{-٧}$ قوة حصان – ساعة

= ٢,٧٧٧٨ × $^{-٧}$ كيلوات – ساعة

**واحد سعر حرارى (كالورى) :**

= ٤,١٨٤ × $١٠^{-٧}$ ارج

= ٤,١٨٤ جول

= ٣,٩٦٥٧ × $١٠^{-٣}$ وحدة حرارية

= ١,٥٥٨٦ × $١٠^{-٦}$ قوة حصان – ساعة

= ١,٦٢٢ × $١٠^{-٦}$ كيلوات – ساعة

**وحدة حرارية Btu**

= ١,٠٥٥ × $١٠^{١٠}$ ارج

= ١,٠٥٥ × $١٠^{٣}$ جول = ١,٠٥٥ كيلوجول

= ٢٥٢,١٦ كالورى

= ٣,٩٣٠١ × $١٠^{-١}$ قوة حصان – ساعة

= ٢,٩٣٠٧ × $١٠^{-٤}$ كيلوات – ساعة

**واحد كيلوات – ساعة 1 KW - hr**

= ٣,٦ × $١٠^{١٣}$ ارج = ٣,٦ × $١٠^{٦}$ جول

= ٣,٦ ميجا جول

= ٨,٦٠٤٢ × $١٠^{٥}$ كالورى

= ٣,٤١٢٢ × $١٠^{٣}$ وحدة حرارية (Btu)

= ١,٣٤١ قوة حصان – ساعة

= ٨٦٠,٤٢ كيلو كالورى

واحد إرج = واحد جرام – سم$^{٢}$ – ثانية$^{-٢}$

واحد جول = واحد كيلوجرام – متر$^{٢}$ ثانية$^{-٢}$

واحد كيلو كالورى = ٤,١٨٤٦ × ١٠$^{١٠}$ إرج

= ٤,١٨٤٦ × ١٠$^{٣}$ جول

= ٤,١٨٤٦ كيلو جول

= ٣,٩٦٥٧ وحدة حرارية (Btu)

= ١,٥٥٨٦ × ١٠$^{-٣}$ قوة حصان – ساعة

= ١,١٦٢٢ × ١٠$^{-٣}$ كيلوات – ساعة

**٩ – القوة : Power**

واحد وات = واحد جول / الثانية = ٠,٨٦ كيلو كالورى / الساعة

واحد قوة حصان = ٧٤٦ وات = ٥٩٦,٨ كيلو وات / الساعة

١ وحدة حرارية / الساعة = ٠,٢٩٣٠٧١ W (وات)

١ كيلو كالورى / الساعة = ١,١٦٣ وات (W)

**١٠ – معد تدفق الطاقة Q :**

واحد وات = ٠,٨٦ كيلو كالورى / الساعة = ٠,٢٣٩٠١ كالورى / الثانية

= ٣,٤١٤٣ وحدة حرارية / الساعة

واحد كيلو كالورى / الساعة = ٠,٢٧٧٨ كالورى / الثانية

= ٣,٩٦٨ وحدة حرارية – ساعة

## جدول التحويل للكميات الحرارية :

### درجة الحرارة °م كلفن المستخدمة فى الوحدات القياسية

| لتحويل الآتى | إلى | اضرب فى | العكس |
|---|---|---|---|
| درجة °م | K | أصف ٢٧٣,١٥ | اطرح ٢٧٣,١٥ |
| درجهة فهرنهيت (F°) | °م | ٥ (٦ − ٣٢) / ٩ | ٩/٥ °م + ٣٢ |
| درجة فهرنهيت (F°) | K | ٥ (F − ٣٢) / ٩ + ٢٧٣,١٥ | ٩ (K − ٢٧٣,١٥) / ٥ + ٣٢ |
| درجة R° | K | ٥ (R − ٤٩١,٦٧) / ٩ + ٢٧٣,١٥ | ٩ (K − ٢٧٣,١٥) / ٥ + ٤٩١,٦٧ |

# المراجـــع

## المراجع العربية

١ – دكتور محمد منير مجاهد – (٢٠٠٢) – مصادر الطاقة فى مصر وآفاق تنميتها– الناشر المكتبة الأكاديمية ١٢١ شارع التحرير الدقى – عدد الصفحات ٥٦٤.

٢ – دكتور حسين عبد الله – (٢٠٠٣) – البترول العربى – دراسة اقتصادية – سياسية – الناشر دار النهضة العربية ٣٢ شارع عبد الخالق ثروت – عدد الصفحات ٥٠٩.

٣ – دكتور هشام الحديدى – جريدة الأهرام (٢٠٠٧/٨/٢٧) بعنوان الصراع الدولى على مصادر الطاقة.

٤ – د. محمد رأفت اسماعيل، د. على جمعان – (١٩٩٨) – الطاقة المتجددة – الناشر دار الشروق ١٩ شارع جواد حسنى – القاهرة – عدد الصفحات ١٤٠.

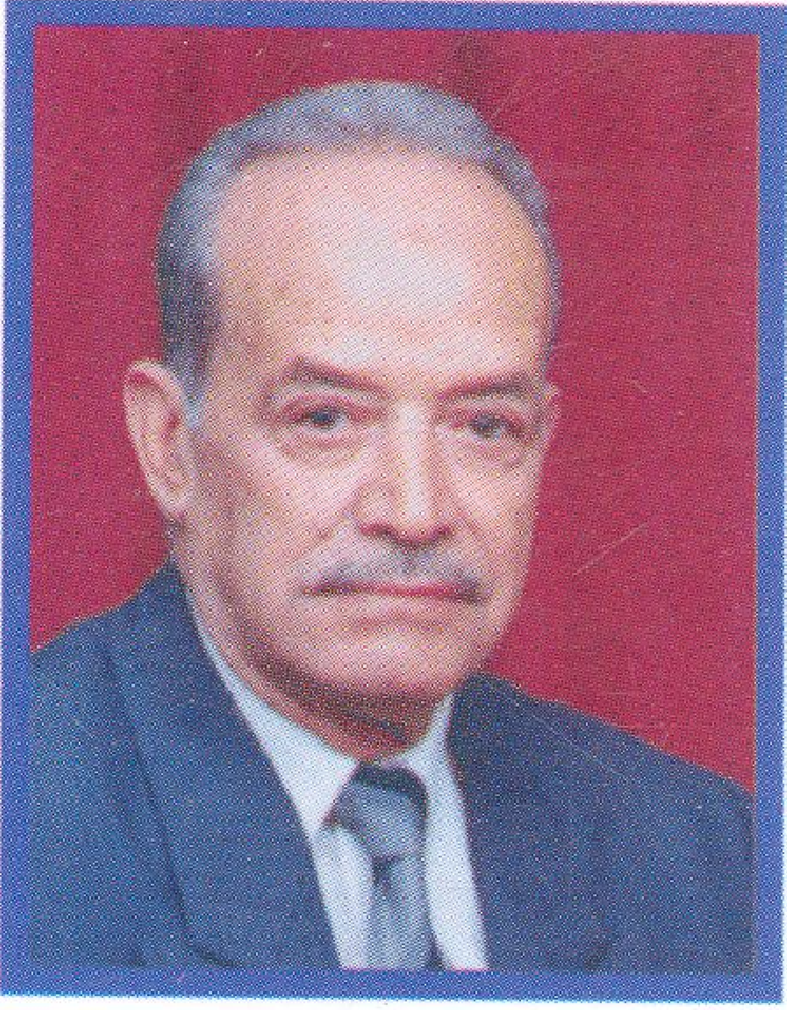
## المراجع الأجنبية

1 - Anthony H. Cordesman (2004). Energy Development In The Middle East. Preager Publisher, 88 Post Road West, Werport, USA. P 308.

2 - James Howard Kunstler (2006). The Long Emergency. Published By The Library Of Congress, USA P 280.

3 - Jeremy Leggett (2005). The Empty Tank. Published by Random House New York. P 395.

4 - Haseema Abbasi (2005). Renewable Energy Sources. Published by Hall Of India - New - Delhi. P 560.



لواء مهندس

محمد أحمد السيد خليل

مهندس استشاري

محمد أحمد السيد خليل

عضو المجالس القومية المتخصصة وعديد من الجمعيات العلمية والمهنية. قدم كتبا ومراجع هندسية في مجال المياه والمواد والطاقة.

حاصل على نوط الجمهورية من الطبقة الثانية وزمالة أكاديمية ناصر العسكرية العليا.

# هذا الكتاب

تم إعداد هذا الكتاب في أربعة أبواب حيث شمل الباب الأول: مصادر الطاقة التقليدية من الفحم والبترول والغاز، وكذا استهلاكها على المستوى الدولي والإقليمي.

والباب الثاني: خصص لصادرات الشرق الأوسط من مصادر الطاقة التقليدية حيث تمت الإشارة إلى ضعف بدائل الوقود الحفري في تحقيق إنجازاته، وكذلك مخاطر النقل والاختناقات البحرية.

والباب الثالث: تناول الوق

وتلوث البيئة.

والباب الرابع: اشتمل على

غير التقليدية من المصادر الجد

والطاقة النووية.




I.S.B.N. 977-10-2398-5

تطلب جميع منشوراتنا من وكيلنا الوحيد بالكويت والجزائر

دار الكتاب الحديث

أزمة الطاقة

والتحدى القادم

